

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**COMPARATIVO DOS CUSTOS DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS EM CONCRETO ARMADO E
ALVENARIA ESTRUTURAL- ESTUDO DE CASO EM
SANTANA DO LIVRAMENTO/RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Asdrubal Loredo Machado Junior

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**COMPARATIVO DOS CUSTOS DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS EM CONCRETO ARMADO E ALVENARIA
ESTRUTURAL- ESTUDO DE CASO EM SANTANA DO
LIVRAMENTO/RS**

Asdrubal Loredo Machado Junior

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Eduardo Rizzatti

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**COMPARATIVO DOS CUSTOS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM
CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL- ESTUDO DE
CASO EM SANTANA DO LIVRAMENTO/RS**

elaborada por
Asdrubal Loredo Machado Junior

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Eduardo Rizzatti, Dr.
(Presidente/Orientador)

Humberto Ramos Roman, Dr. (UFF)

Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 29 de Dezembro de 2014.

Dedico este trabalho a todas as pessoas que de forma direta ou indireta colaboraram para que fosse possível sua realização, mas principalmente aos meus filhos Lucas e Victória pela compreensão nos momentos de ausência e por serem o motivo de minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

A DEUS pelo dom da vida, da sabedoria e pelas oportunidades.

Ao professor SENHOR Eduardo Rizzatti, que inicialmente nutríamos uma relação de simples orientador e orientado e ao longo da caminhada passou, juntamente com a sua família, a ser pessoa de um imensurável apreço, amizade, admiração e dívida.

A URCAMP, pela flexibilidade necessária para possibilitar este trabalho.

Aos meus pais Asdrubal e Vania, pelos ensinamentos, pelos rígidos princípios que norteiam nossas vidas.

Aos Engenheiros Vicente Righi e Carlos Arthur Eguia, que confiaram a obra para este estudo de caso.

À minha sobrinha Juliana pela inestimável colaboração.

À funcionária Marília, pela paciência e colaboração durante todo o processo.

E, com certeza, tomado pela emoção, vou ser injusto, pois não tem como quantificar, qualificar e dimensionar a importância da Elda Nicolini, minha mulher, amiga, companheira, cúmplice, colega, confidente, ombro amigo e meu grande AMOR. Muito obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

COMPARATIVO DOS CUSTOS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL- ESTUDO DE CASO EM SANTANA DO LIVRAMENTO/RS

AUTOR: ASDRUBAL LOREDO MACHADO JUNIOR

ORIENTADOR: EDUARDO RIZZATTI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de Dezembro de 2014.

Com a expansão da construção civil no Brasil e a concorrência cada vez mais acirrada para os empreendedores se faz necessária a busca de alternativas que de alguma forma auxiliem na economia executiva para proporcionar maior competitividade entre as empresas. A tipologia construtiva usada em maior escala com relação a qualquer outro modelo construtivo é o concreto armado, mas, há aproximadamente três décadas, a alvenaria estrutural vem ocupando um espaço importante como modelo construtivo opcional, principalmente em habitações de cunho social, atualmente em larga escala no país. Este trabalho apresenta um comparativo de custos a partir de determinados índices comparativos estabelecidos (estrutura, vedação e revestimento) entre o modelo convencional em concreto armado e alvenaria estrutural. Para a concepção deste comparativo foi feito um estudo de caso utilizando um edifício de seis pavimentos em execução no modelo construtivo convencional em concreto armado na cidade de Santana do Livramento. Analisou-se a obra a partir do pavimento tipo, estabelecendo-se, assim, que os subsolos e pilotis são comuns aos dois processos construtivos e que efetivamente a partir da transição no processo construtivo em alvenaria estrutural teremos índices relevantes para o comparativo de custos. No cálculo do processo em alvenaria estrutural foram utilizados blocos cerâmicos.

O estudo comparativo foi feito a partir do levantamento quantitativo dos itens que integram os índices estabelecidos para os dois processos construtivos, considerando-se as características peculiares a cada processo construtivo principalmente para a região estabelecida para a realização do estudo de caso (obtenção de alguns insumos e mão de obra), a análise foi feita com base nos custos unitários de construção para estrutura convencional em concreto armado e alvenaria estrutural.

A análise de custos a partir dos insumos comparados nos subsistemas analisados para as duas tipologias construtivas, apontou que o processo construtivo em Alvenaria Estrutural apresenta, nestes insumos (estrutura, vedação e revestimento), uma economia de 36,20% com relação ao processo convencional em Concreto Armado. E neste estudo de caso, como os insumos comparados representaram aproximadamente 30% do custo total da obra, tem-se uma economia final de aproximadamente 10,00 % em relação ao custo total.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, comparativo, custos.

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Post-Graduation Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria

COMPARISON OF COSTS OF CONVENTIONAL CONSTRUCTION SYSTEM / STRUCTURAL MASONRY - CASE STUDY

AUTHOR: ASDRUBAL LOREDO MACHADO JUNIOR

ADVISOR: EDUARDO RIZZATTI

Date and Place of Defense: Santa Maria, December 29th, 2014.

With the expansion of the civil construction in Brazil and the increasingly fierce competition between the entrepreneurs the search for alternatives that somehow assist in executive economy to provide greater competition between companies is needed. The building typology that is used on a larger scale in comparison to any other constructive model is the reinforced concrete but, at about three decades, structural masonry has been occupying an important place as an optional constructive model, mainly in social nature's dwellings – currently in large scale in the country. This paper presents a comparison of costs from established comparative indices (structure, sealing and coating) between the conventional model of reinforced concrete and structural masonry. To develop it, a case study from a six-storey building running on conventional constructive model of reinforced concrete in the city of Santana do Livramento was done. The analysis was done from the standard floor being established that the basements and piles are common to both constructive models and that effectively, from the “bandejão” in structural masonry model, we will have relevant indexes to compare costs. To calculate the structural masonry ceramic blocks were used.

The comparative study was done from the quantitative survey of the items that integrate the established indexes for the two constructive models, taking into consideration the peculiar characteristics of each one, mainly for the established region to develop this case study (obtaining of some inputs and labor). The analysis was based on the unitary costs of construction for the conventional structure in reinforced concrete and structural masonry.

Cost analysis of the inputs, compared on the analysed subsystems for the two constructive typologies, pointed out that the constructive model of structural masonry presents, in these inputs (structure, sealing and coating) a 36,20% savings in relation to the constructive model in reinforced concrete. In this study, considering that the compared inputs represent approximately 30% of the total cost of the construction, the final economy is 10,85% in relation to the total cost.

Keywords: Structural masonry, comparative, costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Igreja de Atlântida – Uruguai.....	23
Figura 2 – Blocos de 12, 14 e 19.....	26
Figura 3 – Classificação dos blocos quanto à forma.....	28
Figura 4 – Diferentes tipos de Blocos Estruturais de Concreto.....	29
Figura 5 – Ação de cargas sobre um prédio.....	33
Figura 6 – Tipos de sacadas mais apropriadas para edifícios em alvenaria estrutural.....	36
Figura 7 – Formas de introdução de sacadas em balanço.....	37
Figura 8 – Disposição recomendada das lajes armadas em uma só direção	40
Figura 9 – Verga pré-fabricada de concreto.....	41
Figura 10 – Detalhes de shaft de alvenaria com blocos (19x19x39 cm).....	42
Figura 11 – Detalhes de shaft de alvenaria com blocos (19x19x39 cm).....	42
Figura 12 – Fachada do edifício.....	48
Figura 13 - Comparativo de custo por m ² dos subsistemas considerados no estudo de caso.....	69
Figura 14 - Comparativo dos subsistemas estrutura, vedação e revestimento dos dois processos construtivos.....	76
Figura 15 - Comparativo do subsistema estrutura dos dois processos construtivos.....	77
Figura 16 - Comparativo do subsistema revestimento dos dois processos construtivos.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo e índice do subsistema estrutura para os dois processos construtivos.....	58
Tabela 2 – Consumo e índice do subsistema vedação para os dois processos construtivos.....	59
Tabela 3 – Consumo e índice do subsistema revestimento para os dois processos construtivos.	59
Tabela 4 – Consumo e custo unitário do insumo forma.....	61
Tabela 5 – Consumo e custo do insumo aço CA-60.....	61
Tabela 6 – Consumo e custo unitário do insumo aço CA-50 até 10mm.....	62
Tabela 7 – Consumo e custo unitário do insumo aço CA-50 de 12,5 a 25mm.....	63
Tabela 8 – Consumo e custo unitário do insumo aço CA-50 até 10mm.....	63
Tabela 9 – Consumo e custo unitário do insumo blocos de alvenaria estrutural.....	64
Tabela 10 – Consumo e custo unitário do insumo graute.....	65
Tabela 11 – Consumo e custo unitário do insumo concreto.....	65
Tabela 12 – Consumo e custo unitário do insumo revestimento interno.....	66
Tabela 13 – Consumo e custo unitário do insumo revestimento externo.....	67
Tabela 14 – Consumo e custo unitário do insumo blocos de alvenaria de vedação.....	67
Tabela 15 - Comparativo de custo para o estudo de caso.....	68
Tabela 16 - Comparativo de custos do subsistema estrutura para cada um dos dois processos construtivos.....	69
Tabela 17 - Comparativo de custos do subsistema vedação para cada um dos dois processos construtivos.....	70
Tabela 18 - Comparativo de custos do subsistema revestimento para cada um dos dois processos construtivos.....	71
Tabela 19 – Variação do custo construtivo para os dois processos construtivos.....	71
Tabela 20 – Índices de formas do subsistema estrutura para os dois processos construtivos.....	72
Tabela 21 – Índices de concreto do subsistema estrutura para os dois processos construtivos..	72
Tabela 22 – Índices de aço do subsistema estrutura para os dois processos construtivos.....	73
Tabela 23 – Índices encontrados para os dois processos construtivos integrantes deste estudo..	73
Tabela 24 – Cálculo do custo unitário e total de cada subsistema para o processo construtivo em concreto armado.....	74
Tabela 25 – Cálculo do custo unitário e total de cada subsistema para o processo construtivo em alvenaria estrutural.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas.....	26
Quadro 2 - Tolerâncias máximas de fabricação para blocos de concreto.....	29
Quadro 3 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração	30
Quadro 4- Dimensões modulares e malha básica para modulação.....	38
Quadro 5 - Custos relativos aproximados entre as estruturas convencionais e a alvenaria estrutural.....	44
Quadro 6 - Resumo dos parâmetros adotados para comparação.....	55
Quadro 7 - Os índices calculados para cada subsistema permitem o cálculo unitário para os dois modelos construtivos do estudo de caso.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo de custo por m2 dos subsistemas considerados no estudo de caso.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Projeto em Alvenaria Estrutural.....	84
Anexo 2 – Projeto em Concreto Armado.....	85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivos específicos.....	17
1.3 Estrutura do Trabalho.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Concepção Estrutural.....	19
2.2 Processo Construtivo em Alvenaria Estrutural.....	20
2.2.1 Histórico.....	20
2.2.2 Introdução ao Sistema.....	22
2.2.3 Conceitos Básicos.....	23
2.2.4 Materiais Constituintes.....	24
2.2.4.1 Unidades de Alvenaria.....	25
2.2.4.1.1 Unidades cerâmicas.....	25
2.2.4.1.2 Unidades de concreto.....	28
2.2.4.1.3 Blocos sílicocalcários.....	31
2.2.4.2 Argamassa.....	31
2.2.4.3 Graute.....	32
2.2.5 Esforços Solicitantes.....	32
2.2.6 O Projeto de Alvenaria Estrutural.....	34
2.2.6.1 Definição do Projeto Arquitetônico.....	35
2.2.6.2 2Forma do Prédio.....	36
2.2.6.3 Comprimento e altura total das paredes.....	37
2.2.6.4 Escolha do bloco.....	37
2.2.6.5 Amarração das paredes.....	39
2.2.6.6 Escolha da tipologia das lajes.....	40
2.2.6.7 Vergas e contravergas.....	41
2.2.6.8 Previsão de instalações.....	41
2.2.7 Vantagens econômicas da Alvenaria Estrutural.....	43
2.3 Custos.....	44
3 METODOLOGIA DO TRABALHO.....	47
3.1 Edifício objeto do estudo de caso.....	47
3.2 Escolha dos subsistemas.....	48
3.3 Proposta de estudo definida.....	48
3.4 Descrição dos processos construtivos.....	49
3.4.1 Processo construtivo em concreto armado.....	49
3.4.2 Processo construtivo em alvenaria estrutural.....	50
3.5 Parâmetros de comparação adotados.....	51
3.6 Levantamento de quantitativos.....	54
3.7 Cálculo do custo.....	55
3.7.1 Cálculo dos consumos e índices.....	57
4 RESULTADOS.....	60
4.1 Cálculo dos consumos e índices.....	60
4.1.1 Formas.....	60
4.1.2 Armadura de aço CA-60 até 6.3mm.....	61

4.1.3 Armadura de aço CA-50 até 10mm.....	62
4.1.4 Armadura de aço CA-50 12.5 a 25mm.....	62
4.1.5 Armadura de aço CA-50 até 10mm – Alvenaria.....	63
4.1.6 Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos.....	64
4.1.7 Graute – preparo e lançamento.....	64
4.1.8 Concreto fck 30 MPa – concreto e lançamento.....	65
4.1.9 Revestimento interno.....	66
4.1.10 Revestimento externo.....	66
4.1.11 Alvenaria blocos vazados 6 furos.....	67
4.2 Análise Comparativa de Custos.....	68
4.2.1 Análise comparativa dos índices calculados.....	71
4.3 Considerações.....	78
CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS.....	84

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção desempenha um papel de grande importância no desenvolvimento econômico e social do país. O setor tem contribuído com aproximadamente 5,7% do PIB Nacional, conforme dados do IBGE em 2012. Com relação à absorção da mão de obra, a construção emprega cerca de um terço dos trabalhadores envolvidos em atividades industriais, a maior parte dos quais sem qualificação.

Os dados do Produto Interno Bruto (PIB), divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no dia 30 de agosto de 2013, revelaram que a Construção Civil cresceu 3,8% no segundo trimestre de 2013, na comparação com o trimestre imediatamente anterior. O resultado, superior ao desempenho registrado nos primeiros meses do ano (0,4%), foi o melhor apresentado no segmento industrial e surpreendeu positivamente o setor. A finalização de grandes obras, como os estádios para a Copa das Confederações, é um dos motivos que pode ajudar a explicar o desempenho do setor no País neste período. No primeiro semestre de 2013 a Construção Civil cresceu 1,4% (na comparação com igual período de 2012). De acordo com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), as estimativas para o crescimento da Construção para este ano permanecem em cerca de 3%.

O desempenho da economia no segundo trimestre também surpreendeu, registrando incremento de 1,5% de abril a junho, na comparação com o período de janeiro a março. Este número foi superior às estimativas do mercado, que apontavam alta de 0,7% a 1,3%. A Agropecuária cresceu 3,9%, a Indústria 2,0% e os Serviços 0,8%. A Formação Bruta de Capital Fixo (que representa os investimentos na economia em máquinas, equipamentos e na Construção Civil), apresentou alta de 3,6% neste período, o terceiro trimestre consecutivo de expansão. Ressalta-se que o Brasil precisa aumentar a sua taxa de investimento, atualmente em 18,6% do PIB, para fortalecer o seu crescimento. Vários especialistas e analistas estimam que, para manter a expansão da economia, de forma sustentada, o País precisaria de uma taxa de investimentos de aproximadamente 25% do PIB. Neste contexto, destaca-se a importância da Construção Civil.

Como se vê, a construção brasileira retomou nos anos recentes o seu importante papel na receita do desenvolvimento. Após décadas de baixo investimento em infraestrutura e em habitação, o país reencontrou sua rota de progresso e, para isso, não pode prescindir do setor de construção civil para formação de capital e para promoção de qualidade de vida de nossa

população, conforme Paulo Safady Simão, Presidente da Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Segundo ele, nesse novo cenário, evidenciam-se grandes desafios. O principal deles, na trajetória de desenvolvimento continuado, é o da produtividade. Em poucas palavras, a busca por produtividade significa atingir o objetivo de produzir mais e melhor a partir de uma combinação factível de recursos. O desafio se resume em promover condições de viabilidade para investimentos em máquinas, processos produtivos e qualificação da mão de obra.

Assim sendo, o processo construtivo em Alvenaria Estrutural apresenta-se como um modelo economicamente viável e de extrema eficiência, pois a baixo custo edifica-se mantendo as técnicas exigidas, através de conceitos de produtividade, racionalização e principalmente mantendo-se a qualidade.

Segundo Amaral, (2013), a adoção de formas mais racionalizadas de organização do processo de produção, que imprimam melhores desempenhos de produção, é um dos caminhos que as empresas do setor da construção civil buscam quando pretendem reduzir custos, melhorar a produtividade de suas equipes e aumentar a qualidade de seus processos e produtos.

Em 2011, o valor total das incorporações, obras e/ou serviços da construção executados pelas empresas com 30 ou mais pessoas ocupadas foi de R\$ 235,6 bilhões, assinalando um crescimento, descontados os efeitos inflacionários, de 3,8% em relação a 2010 (R\$ 213,1 bilhões) e de 68,0% em comparação a 2007 (R\$ 103,9 bilhões). O valor do grupo de incorporação de empreendimentos imobiliários passou de R\$ 5,4 bilhões, em 2010, para R\$ 5,5 bilhões, em 2011, representando 2,3% do total das incorporações, obras e/ou serviços da construção, assinalando participação inferior à de 2010 (2,5%) e igual à de 2007 (2,7%).

O segmento de obras residenciais executou construções no valor de R\$ 51,7 bilhões, correspondendo a 22,0% do total das incorporações, obras e/ou serviços da construção em 2011, resultado superior ao apresentado em 2010 (20,8%) e em 2007 (15,1%). O produto mais importante neste grupo é edifícios residenciais, de maior peso individual e que passou, em valores nominais, de R\$ 39,7 bilhões em 2010, para R\$ 44,2 bilhões em 2011, assim, aumentando ligeiramente sua participação de 18,6% (2010) para 18,8% (2011). Vale mencionar também, serviços de reforma ou manutenção de edifícios residenciais, que cresceu de R\$ 4,6 bilhões (2010) para R\$ 7,6 bilhões (2011), aumentando sua participação de 2,2% para 3,2% entre 2010 e 2011.

Conforme estatísticas da Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC, o valor dos financiamentos com recursos do Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo- SBPE, vindos da caderneta de poupança, passou de R\$ 56,2 bilhões em 2010, para R\$ 79,9 bilhões em 2011 e o número de unidades financiadas aumentou de 421.385 para 492.489, correspondendo a um acréscimo de 16,9% dessas unidades. Já os empréstimos provenientes dos recursos do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço – FGTS, que são destinados à construção, reforma, urbanização, compra de materiais de construção e aquisição de terrenos, passaram de R\$ 27,3 bilhões, em 2010, para R\$ 34,9 bilhões, em 2011 e o número de unidades financiadas cresceu de 453 308 para 477 743, registrando um incremento de 5,4% (CBIC, 2012).

1.1 Justificativa

Na cidade de Santana do Livramento, RS há um grande déficit habitacional. Durante várias décadas, devido a estagnação do modelo industrial e da produção primária (principal processo da cadeia produtiva do município), aliado ao quase incipiente desenvolvimento da construção civil em todas as esferas, praticamente não se construíram prédios. Apenas poucas iniciativas de alguns construtores, de edifícios de até quatro pavimentos, em função do baixo poder de compra dos munícipes e de índices urbanísticos que não permitiam projetos mais arrojados. Com o advento dos financiamentos habitacionais e da retomada do poder aquisitivo da população, com o crescimento dos free-shops e a possível liberação da zona de livre comércio, houve o interesse de várias empresas na construção de prédios. No ano de 2009, com a forte pressão do mercado imobiliário, houve mudanças no Plano Diretor e os índices foram modificados, propiciando edificações de maior altura. Foram, então, construídos vários edifícios, mas em nenhum deles utilizou-se o sistema de alvenaria estrutural.

Apesar de amplamente utilizado no Estado, na cidade este processo ainda não despertou interesse dos empreendedores, por desconhecimento e pela resistência às inovações tecnológicas, por se tratar de um modelo que foge dos padrões mais conservadores.

Em contato com colegas engenheiros evidenciou-se a necessidade da elaboração de um estudo que comparasse o custo de um edifício de oito pavimentos que já está sendo executado em concreto armado com o custo desse mesmo edifício, se construído em alvenaria

estrutural. Neste trabalho apresenta-se um estudo comparativo de custo entre dois sistemas estruturais: estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural, para um edifício na cidade de Santana do Livramento.

Pretende-se demonstrar a viabilidade ou não deste modelo construtivo e em caso positivo esse estudo será importante para que as empresas de construção civil possam usá-lo como ferramenta de decisão na concepção do modelo construtivo.

1.2 Objetivos

O presente trabalho busca apresentar um estudo comparativo entre os processos construtivos de estruturas em concreto armado e alvenaria estrutural, com foco principalmente no custo, visando buscar a melhor solução construtiva para uma obra de porte e padrão semelhantes ao do projeto estudado na cidade de Santana do Livramento.

1.2.1 Objetivos Específicos

- a) Selecionar edificação para ser instrumento comparativo do estudo de caso;
- b) estabelecer quais serão os subsistemas estudados e definir parâmetros que nos possibilitem comparar custos;
- c) a partir da escolha do prédio para o estudo de caso já em execução no processo construtivo em concreto armado, elaborar projetos do prédio em alvenaria estrutural;
- d) levantar quantitativos dos subsistemas estabelecidos;
- e) comparar os custos obtidos nos dois processos construtivos;
- f) colocar o resultado deste estudo à disposição dos profissionais da cidade de Santana do Livramento os custos comparativos entre os processos estruturais analisados para o porte de edificação, que abrange este estudo de caso.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para atender aos objetivos propostos, o trabalho foi organizado em cinco capítulos, sendo completado pelos anexos. Como pode ser observado, o presente Capítulo 1, Introdução, apresenta algumas considerações sobre o momento atual da indústria da construção, a justificativa para a realização do trabalho e os objetivos propostos.

Já no Capítulo 2, da Revisão Bibliográfica, é apresentado o processo construtivo em alvenaria estrutural e referências teóricas com relação a custos.

A metodologia utilizada para o comparativo de custos é descrita no Capítulo 3, onde foram adotados índices para a composição dos custos, possibilitando a comparação dos subsistemas.

No Capítulo 4 encontram-se os resultados obtidos a partir do comparativo dos subsistemas nos dois processos construtivos.

A conclusão do trabalho está apresentada no Capítulo 5.

Finalmente, em anexo, apresentam-se os projetos nos dois processos construtivos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como a proposta do trabalho é, através de um estudo de caso, contribuir para difundir o Processo Construtivo em Alvenaria Estrutural na cidade de Santana do Livramento e região, apresenta-se, a seguir, uma revisão da bibliografia sucinta sobre esse processo construtivo, uma vez que o sistema construtivo em Concreto Armado é amplamente utilizado e conhecido.

2.1 Concepção Estrutural

Segundo Accetti (1998) “a concepção estrutural de um edifício consiste em se definir no projeto quais os elementos suportarão os carregamentos provindo das ações verticais e horizontais”. Toda solução estrutural adotada deve atender a determinadas exigências de qualidade como segurança, durabilidade, arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais, de integração com os demais projetos e econômicas, conforme.

Os termos utilizados para definir a concepção de um edifício são descritos por Sabbatini (1989):

- a) Técnica construtiva: conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção. Segundo Gama (1987), técnica é o conjunto de regras práticas para realizar determinadas atividades, envolvendo a habilidade do executor. Deste modo entende-se por técnicas construtivas, as operações de elevação de uma parede de alvenaria, a montagem de uma fôrma de madeira para moldar uma laje de concreto, o assentamento de uma esquadria de janela, a fixação de uma porta, o assentamento de piso, o embutimento de canalizações elétricas ou hidráulicas, etc.
- b) Método construtivo: conjunto de técnicas construtivas, interdependentes e adequadamente organizadas, empregadas na construção de uma parte (subsistemas ou elementos) de uma edificação;
- c) Processo construtivo: é um organizado e bem definido modo de construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro);

- d) Sistema construtivo: processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.
- e) Subsistema: maior parte funcional de um edifício.

O processo construtivo pode ser industrializado em meios em que se utilizam métodos e processos de produção em série de pré-fabricação total ou parcial; em que se emprega equipamentos mecânicos; em que se visa aumentar a qualidade, garantir a intercambiabilidade de componentes, além de diminuir custos, consumo de materiais e o tempo de produção; em que se usa intensivamente componentes e elementos produzidos em instalações fixas e acopladas no canteiro; também se emprega preponderantemente técnicas industriais de produção, transporte e montagem e se aplica princípios da técnica industrial; produção em massa e em série; repetição de elementos, coordenação dimensional, uso intensivo de máquinas e especialização de mão-de-obra.

A nomenclatura construtiva citada anteriormente obedece a uma hierarquia, de tal forma que o sistema construtivo depende dos processos empregados e cada um destes depende dos métodos aplicados, sendo esses identificados pelas técnicas utilizadas em cada atividade da construção.

2.2 Processo Construtivo em Alvenaria Estrutural

2.2.1 Histórico

As principais construções que marcaram a humanidade, pelos aspectos estruturais e arquitetônicos, eram compostas por unidades de blocos de pedra ou cerâmicos inter travados com ou sem um material ligante, como pode ser visto em construções como as Pirâmides do Egito, o Farol de Alexandria, o Coliseu romano, a Catedral de Notre Dame, pontes e castelos (RIZZATTI, MOHAMAD, 2013).

O uso de alvenaria estrutural tem milhares de anos de existência e iniciou com a utilização do conhecimento empírico. Os exemplos mais expressivos do uso dela na antiguidade são as catedrais. Essas obras magníficas, existentes até hoje em excelente estado

de conservação, comprovam o potencial, a qualidade e a durabilidade deste processo construtivo.

Na história da alvenaria estrutural, o dimensionamento se manteve em bases empíricas até o final do século XIX. O conhecimento então existente levava à construção de edificações de paredes com espessuras excessivas. O mais famoso exemplo dessa fase talvez seja o Monadnock Building, de Chicago, nos EUA. Inaugurado em 1894, foi considerado um marco da engenharia para a época. Com 16 pavimentos de altura, as paredes do térreo apresentam 1,80 m de espessura. O advento do concreto armado foi contemporâneo à construção do Monadnock Building. Essa nova forma de estrutura, aliada ao encarecimento do solo e da mão-de-obra, produziu duas consequências:

- a) O abandono do uso de alvenaria estrutural como opção viável do ponto de vista técnico e financeiro;
- b) A perda de grande parte do conhecimento a respeito da alvenaria estrutural, especialmente o de bem construir.

Por tais razões, esse processo construtivo sofreu grande declínio até a segunda guerra mundial. No início da década de 50, novas pesquisas e novos métodos de cálculo tornaram a alvenaria estrutural competitiva para a construção de prédios de até 16 pavimentos. A partir dessa década, a retomada do processo de construção em alvenaria estrutural pode ser considerada um resgate do processo do passado.

No Brasil, os primeiros prédios em alvenaria estrutural surgiram em São Paulo no final da década de 60. Esses prédios foram construídos em bloco de concreto e mostraram uma arquitetura muito pobre. Em 1972 foi concluído, em São Paulo, o primeiro edifício com 12 pavimentos. Esse edifício foi projetado por um engenheiro norte-americano e foi construído em alvenaria estrutural não armada.

Nesse mesmo período, algumas empresas brasileiras de cerâmica, notadamente no Sul, passaram a produzir blocos estruturais. Em todos esses empreendimentos, os procedimentos de construção utilizados foram convencionais, não tendo as construtoras obtido todas as vantagens potenciais da alvenaria estrutural. No início da década de 90, com o surgimento de políticas de qualidade e produtividade e com a baixa da inflação, a alvenaria estrutural surgiu com grande força, notadamente no Sudeste e no Sul do país. A partir de 1990, intensificou-se o estudo da alvenaria estrutural não armada. Surgiu o processo Poli Encol, que propôs grande racionalização nas formas de construir. Entre essas, destaca-se a adoção de blocos com

modulação de 15 cm, escadas pré-moldadas, uso de equipamentos e ferramentas próprios para alvenaria estrutural e não preenchimento da junta vertical.

Algumas das soluções representaram grande avanço no uso do processo em todo o Brasil. Outras se mostraram equivocadas ou, pelo menos, polêmicas, especialmente o não uso de argamassa nas juntas verticais.

2.2.2 Introdução ao Sistema

Uma das questões que se levantam com frequência está relacionada com o potencial deste processo construtivo. Que tipo de obra é possível construir em alvenaria estrutural?

Do ponto de vista puramente técnico, a alvenaria estrutural permite obras de grande arrojamento estrutural, não havendo limites quanto ao uso da mesma. É normalmente possível construir em alvenaria estrutural, com economia e qualidade, prédios de apartamentos, hospitais, escolas e hotéis.

De outro lado, sob o ponto de vista econômico, alguns empreendimentos serão mais viáveis se forem construídos com processos convencionais de concreto armado ou em estruturas de aço. Servem de exemplo prédios de grande altura, acima de 15 pavimentos, ou obras que envolvam grandes vãos ou arquitetura muito arrojada. Apesar disso, existem, em alvenaria estrutural, vários exemplos de obras de grande arrojamento, construídas com custos competitivos.

A figura 13 mostra obra do engenheiro Eládio Dieste (1917-2000). Foi feita com tijolo cerâmico maciço e com toda a estrutura em alvenaria estrutural, incluindo o teto. Ela é marco da arquitetura e da engenharia mundial.



Figura 1 – Igreja de Atlântida – Uruguai.

Fonte: <http://eficienciaenergetica.blogspot.com.br/2013/09/a-ceramica-armada-do-dieste-2.html>
Acesso em jun/2014.

2.2.3 Conceitos básicos

A alvenaria estrutural é um processo construtivo em que as paredes atuam como estrutura e têm a função de resistir às cargas verticais, bem como às cargas laterais. As cargas verticais são devidas ao peso próprio da estrutura e as cargas de ocupação. As cargas laterais, por sua vez, originam-se da ação do vento e/ou do desaprumo. Estas são absorvidas pelas lajes e transmitidas às paredes estruturais paralelas à direção do esforço lateral. Uma parede de alvenaria pode suportar pesadas cargas verticais. No entanto, quando esta for submetida a cargas laterais paralelas ou perpendiculares ao seu plano, pode romper devido aos esforços de tração que eventualmente venham a aparecer. O grande desafio do engenheiro estrutural consiste, portanto, em minimizar ou em evitar tensões de trações que possam vir a aparecer.

A alvenaria estrutural para prédios de vários pavimentos tornou-se opção de construção largamente empregada no mundo, devido a vantagens tais como flexibilidade de construção, economia, valor estético e velocidade de construção. A grande vantagem que a alvenaria estrutural apresenta é a possibilidade de esta incorporar facilmente os conceitos de

racionalização, produtividade e qualidade, produzindo, ainda construções com bom desempenho tecnológico aliado a baixos custos.

No Brasil, a técnica de cálculo e execução em alvenaria estrutural é relativamente recente (final dos anos 60) e, até hoje, pouco conhecida da maioria dos profissionais da Engenharia Civil. No entanto, a abertura de novas fábricas de materiais, assim como o surgimento de grupos de pesquisa sobre o tema faz com que, a cada dia, cada vez mais construtores utilizem o sistema e se interessem por ele.

De acordo com Ramalho (2003), os principais pontos positivos do sistema alvenaria estrutural são os seguintes:

- a) Economia de formas: Quando existem, as formas se limitam as necessárias para a concretagem das lajes.
- b) Redução significativa dos revestimentos: Por se utilizar blocos de qualidade controlada e pelo controle maior na execução, a redução dos revestimentos é muito significativa. Usualmente o revestimento interno é feito com uma camada de gesso aplicada diretamente sobre a superfície dos blocos. No caso dos azulejos, eles também podem ser colados diretamente sobre os blocos.
- c) Redução nos desperdícios de material e de mão-de-obra: O fato de as paredes não admitirem intervenções posteriores significativas, como rasgos ou aberturas para as instalações.
- d) Redução do número de especialidades.
- e) Flexibilidade no ritmo de execução da obra.

2.2.4 Materiais constituintes

Os materiais usados para alvenaria estrutural são as unidades de alvenaria, vazadas ou maciças, as argamassas e o graute. O comportamento dos diferentes materiais ao formarem a parede pode variar muito, dependendo de vários fatores, tais como o tipo e a geometria da unidade, os componentes da argamassa, a resistência do graute, etc. Entender o comportamento estrutural das paredes de alvenaria em função dos materiais utilizados é de fundamental importância, tanto na etapa de projeto quanto na de execução. A especificação incorreta dos mesmos pode levar à ocorrência de patologias ou, mesmo, de colapso da

estrutura. Da mesma forma, também a falta de cuidado no processo de construção, seja pelo uso de unidades inadequadas, seja pela mistura incorreta das argamassas e grautes, pode causar danos à estrutura.

2.2.4.1 Unidades de alvenaria

As unidades de alvenaria (tijolos e blocos) mais utilizadas no Brasil, quanto a natureza do material são as cerâmicas, de concreto e sílico-calcáreas e quanto à função em blocos para vedação (tijolos e blocos projetados para serem assentados com os furos na horizontal e para resistirem apenas às cargas devidas ao peso próprio e a pequenas cargas de ocupação) ou estruturais (tijolos maciços e blocos projetados para serem assentados com os furos na vertical e que têm a finalidade de resistir a cargas verticais, bem como a seu peso próprio).

2.2.4.1.1 Unidades cerâmicas

De acordo com Rizzatti, et al.(2014), os blocos cerâmicos estruturais são componentes da alvenaria estrutural que possuem furos prismáticos perpendiculares à face que os contém, sendo os mesmos produzidos para serem assentados com os furos na vertical.

Todas as propriedades físicas são influenciadas pela composição da matéria prima usada e pelo processo de fabricação. Encontram-se unidades com resistências baixas, em torno de 3 MPa, e outras, de elevadas resistências, que podem atingir mais de 100 MPa.

A figura 2 mostra alguns blocos produzidos no Brasil.

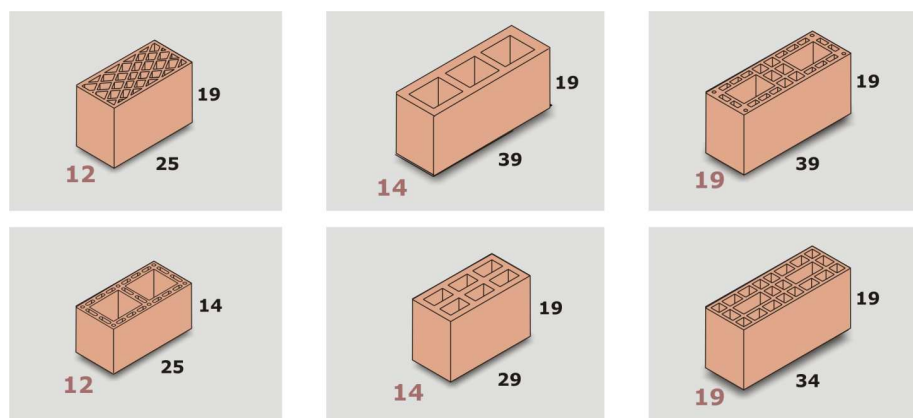


Figura 2 – Blocos de 12, 14 e 19.

Fonte: www.ceramicabosse.com.br

Acesso em maio/2014

Segundo Rizzatti, et al. (2013), os blocos e os tijolos cerâmicos para a alvenaria estrutural devem apresentar propriedades físicas (aspecto, dimensão, absorção de água, esquadro e planeza) de acordo com as recomendações mínimas normativas. Além dessas propriedades, é importante que tenham as tolerâncias de fabricação apresentadas no Quadro 1 e as propriedades de sucção inicial e de resistência à compressão definidas a seguir (NBR 15270-2: ABNT, 2005). De acordo com a mesma norma, o índice de absorção de água dos componentes cerâmicos não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%.

Dimensão	Tolerâncias dimensionais relacionadas às medições individuais (mm)	Tolerâncias dimensionais relacionadas à média (mm)
Largura (L)	±5	±3
Altura (H)	±5	±3
Comprimento (C)	±5	±3
Desvio em relação ao esquadro (D)		3
Planeza das faces ou Flecha (F)		3

Quadro 1 – Tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões efetivas.

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT,2005).

Afirmam ainda que, de acordo com a NBR 15270-2: ABNT, 2005, os blocos de paredes vazadas devem possuir septos internos de espessura mínima de 7mm e das paredes externas de, no mínimo, 8mm. Já a espessura mínima para os blocos de paredes maciças deve ser de 20mm, podendo as paredes internas apresentar vazados, desde que a sua espessura total seja maior ou igual a 30mm, sendo 8mm a espessura mínima de qualquer septo.

De acordo com Prudêncio, et al. (2002), quanto maior a espessura da junta, menor é a resistência da alvenaria; isto ocorre porque aumenta o esforço de tração na unidade, fazendo-a romper com cargas de compressão mais baixas. Ainda consoante Parsekian (2010), a variação no comprimento produz alterações na espessura de juntas verticais e podem ser prejudiciais à modulação.

Quanto à absorção de água, Rizzatti, et al. (2013) mostram que a absorção de água inicial de uma unidade cerâmica é definida como a quantidade de água absorvida por um bloco seco, quando parcialmente imerso em água, a uma profundidade de 3mm, pelo período de 1 minuto. Essa absorção inicial de água, dada em gramas/193,55 cm²/minuto, mede a tendência da unidade de retirar água da argamassa. Sua magnitude depende das características superficiais da unidade, do tipo de argila empregada e do grau de cozimento da peça. A absorção de água inicial pode ser chamada de taxa de sucção inicial e afeta a aderência entre a unidade e a argamassa. Quanto maior for essa taxa de sucção inicial, tanto menor será a resistência à flexão e a o cisalhamento. Por isso, nos casos em que um bloco tenha elevada absorção de água inicial, este deve ser umedecido antes do assentamento, pois poderá reduzir a aderência final do componente. O valor máximo recomendado pela NBR 15270-2 (ABNT,2005) para a taxa de sucção é de (30 gramas/193,55 cm²)/minuto. Acima deste valor o bloco deve ser molhado.

E mostram ainda que a principal característica de um bloco para uso em alvenaria estrutural é a sua resistência à compressão. Ela deve atingir os requisitos mínimos que a norma específica, bem como as exigências do projeto estrutural. A resistência à compressão mínima dos blocos estruturais deve ser referida na área bruta. De acordo com a NBR 15270-2: ABNT,2005), a resistência característica à compressão (f_{bk}) dos blocos cerâmicos estruturais deve ser considerada a partir de 3,0 MPa, referida à área bruta.

Quanto à forma, os blocos cerâmicos classificam-se em: (a) bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas; (b) bloco cerâmico estrutural com paredes maciças; (c) bloco cerâmico estrutural com paredes maciças (paredes internas vazadas) e (d) bloco cerâmico estrutural perfurado, como mostra a figura 3.

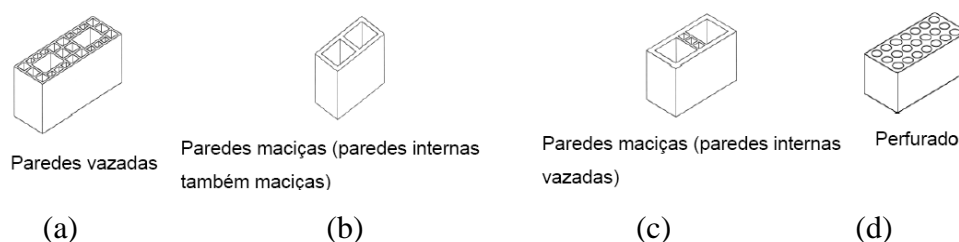


Figura 3 – Classificação dos blocos quanto à forma.
Fonte: NBR 15270-2 (ABNT,2005)

2.2.4.1.2 Unidades de Concreto

Ainda segundo Rizzatti, et al. (2013), os blocos de concreto são unidades estruturais vazadas, vibro compactadas e produzidas por indústrias de pré-fabricação de concreto, encontrados no Brasil com diferentes geometrias e resistências à compressão. Por definição, o termo bloco vazado é utilizado quando a unidade possui área líquida igual ou inferior a 75% da área bruta. As unidades são especificadas de acordo com suas dimensões nominais, ou seja, dimensões comerciais indicadas pelos fabricantes, múltiplas do módulo $M=10$ e seus submódulos $2M \times 2M \times 4M$ ($L \times H \times C$). As unidades de concreto são produzidas a partir das suas dimensões nominais especificadas pelo fabricante para largura, altura e comprimento (exemplo: 190mm x 190mm x 390mm) e as reais verificadas diretamente no bloco (exemplo: 192mm x 193mm x 393mm). A NBR 6136 (ABNT,2014) fixa os requisitos para a classificação dos blocos vazados de concreto simples destinados à alvenaria com ou sem função estrutural. As classificações gerais de uso das unidades são:

- Classe A – blocos com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- Classe B – blocos com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe C – blocos sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;

A figura 4 mostra os tipos de blocos de concreto mais fabricados no Brasil.

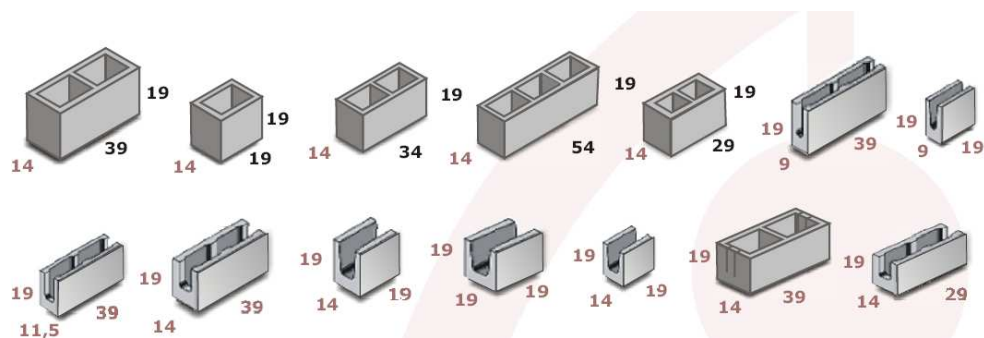


Figura 4 – Diferentes tipos de Blocos Estruturais de Concreto
 Fonte: Adaptado do Curso de Alvenaria Estrutural (Caixa Econômica Federal)

As características mecânicas dos blocos dependem dos materiais constituintes, umidade do material usado na moldagem, do proporcionamento destes, do grau de compactação e do método de cura. Recomenda-se que a dimensão máxima característica do agregado não ultrapasse a metade da menor espessura de parede de blocos. Os blocos de concreto para alvenaria estrutural devem apresentar as seguintes propriedades:

a) Aspecto:

Os blocos devem apresentar aspecto homogêneo, ser compactos, ter arestas vivas e ser livres de trincas ou outras imperfeições que possam prejudicar o seu assentamento, ou as características de mecânica e de durabilidade da edificação.

b) Dimensões:

Os blocos de concreto devem atender às dimensões estabelecidas no contrato entre fornecedor e comprador. Caso isto não ocorra, poderão ficar comprometidas tanto a modulação prevista na fase de projeto, quanto a racionalização do processo construtivo. Pequenos desvios dimensionais podem ser aceitos, desde que estejam dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6136 (ABNT,2014), que serão mostrados no Quadro 2.

DIMENSÃO	TOLERÂNCIA (mm)
Largura (L)	± 2
Altura (H)	± 3
Comprimento (C)	± 3

Quadro 2 – Tolerâncias máximas de fabricação para blocos de concreto.
 Fonte: NBR 6136(ABNT,2014).

- c) Absorção de água: A absorção de água dos blocos está indiretamente relacionada com a sua densidade. Quanto mais denso for o bloco, menor será a taxa de absorção. A densidade e a absorção de água afetam a construção, o isolamento térmico e acústico, a porosidade, a pintura, a aparência e a qualidade da argamassa requerida. Para o assentamento de unidades com alta absorção de água, é necessário utilizar argamassa com maior retenção de água ou molhar levemente a superfície de assentamento do bloco. Dessa forma, evita-se a perda de trabalhabilidade decorrente da absorção de água pelos blocos. A absorção de água média dos blocos para qualquer uma das classes de blocos de concreto deve ser menor ou igual a 10 %, quando o agregado constituinte do bloco for de peso normal ou igual a 13% (valor médio) ou 16% (valor individual) para agregado leve.
- d) Retração na secagem: A quantidade excedente de água utilizada na preparação do bloco de concreto permanece livre no interior da massa e evapora posteriormente. Esta evaporação gera forças capilares equivalentes a uma compressão isotrópica da massa, produzindo redução de volume. Para blocos de concreto com índices de retração inferiores a 0,08%, as solicitações devidas à retração por secagem podem ser desprezadas.
- e) Resistência à compressão: É a principal característica da unidade para uso em alvenaria estrutural. A resistência deve atingir os requisitos mínimos da Norma específica, bem como as exigências do projeto estrutural, conforme especificação mostrada no Quadro 3.

Requisito para resistência característica à compressão, absorção e retração							
Classificação	Classe	Resistência Característica à compressão axial MPa	Absorção (%)				Retração (%)
			Agregado normal		Agregado leve		
			individual	média	individual	média	
Com função estrutural	A	$fbk \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
Com ou sem função estrutural	B	$4,0 \leq fbk < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
	C	$fbk \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

Quadro 3 – Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2014)

2.2.4.1.3 Blocos Sílicocalcários

Os blocos de sílicocalcário são classificados por tipo, o qual deve atender a modulação de 12,5 cm e a de 20 cm de altura e comprimento, incluindo 1 cm referente à dimensão teórica da junta de argamassa, podendo ter variação em sua altura. Quanto a sua aplicação, são divididas em blocos para alvenaria de vedação, para alvenaria estrutural armada e alvenaria estrutural não armada. Os blocos devem ter aspecto homogêneo, compacto, com arestas vivas e serem livres de trincas, fissuras ou outras imperfeições que possam prejudicar seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade da construção de acordo com a NBR 14974-1 (ABNT,2003).

2.2.4.2 Argamassa

Rizzatti, et al. (2013), destacam que, além das unidades, a importância do comportamento da argamassa de assentamento, pois é por meio desta que se garantem o monolitismo e a solidez necessária a parede. A função principal da argamassa é transmitir todas as ações verticais e horizontais atuantes de forma a solidarizar as unidades, criando uma estrutura única. Outras funções que deve exercer são a absorção das deformações e a compensação das irregularidades causadas pelas variações dimensionais das unidades. As argamassas são materiais fundamentais para a alvenaria. Normalmente são compostas por cimento, cal, areia, e água suficiente para produzir uma mistura plástica de boa trabalhabilidade. A cal pode ser substituída por saibro, caulim ou barro. A principal responsabilidade mecânica da argamassa é transmitir as tensões verticais por meio das unidades e acomodar as deformações concentradas, de modo a não provocar fissuras.

A NBR 15812-1 (ABNT, 2010) e a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) designam as argamassas destinadas ao assentamento, sendo que devem atender aos requisitos estabelecidos na NBR 13281 (ABNT, 2005). Para a resistência à compressão deve ser atendido o valor mínimo de 1,5 MPa e o máximo limitado a $0,7 f_{bk}$ (resistência característica do bloco) referida à área líquida.

2.2.4.3 Graute

O graute é um concreto ou argamassa com suficiente fluidez para preencher os vazios dos blocos completamente e sem separação dos componentes. Tem a finalidade de aumentar a capacidade de resistência à compressão da parede e de solidarizar as ferragens à alvenaria, preenchendo as cavidades onde estas se encontram. Pode também ser usado como material de enchimento em reforços estruturais e em zonas de concentração de tensões.

O graute para alvenaria é composto de uma mistura de cimento e agregado, devendo estes possuir módulo de finura em torno de quatro (areias grossas). O graute é composto dos mesmos materiais usados para produzir concreto convencional. As diferenças estão no tamanho do agregado graúdo (mais fino, 100% passando na peneira 12,5 mm) e na relação água/cimento.

2.2.5 Esforços solicitantes

Os principais esforços nos quais as paredes devem resistir estão representados na figura 5. As paredes estão preponderantemente submetidas a esforços de compressão, devidos ao peso próprio dos elementos e das cargas das lajes sustentadas pelas paredes. Outro esforço a ser considerado nos edifícios é o resultante das cargas de vento. O vento origina forças horizontais, perpendiculares aos planos das paredes externas, ocasionando, nesses painéis, esforços de flexão. Esses esforços horizontais que atuam sobre as paredes externas são transmitidos pelas lajes, na forma de tensões de cisalhamento, às paredes internas transversais. Estas, sucessivamente, transmitem os esforços para os andares inferiores até chegarem às fundações do edifício. Portanto, em cálculos de prédios em alvenaria estrutural, devem-se considerar os esforços de compressão, cisalhamento e flexão aos quais os elementos estarão submetidos.

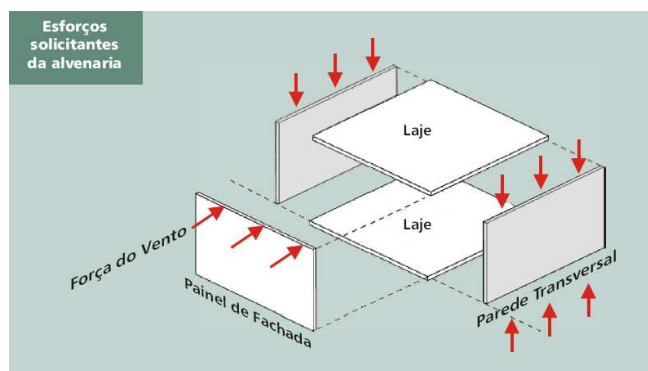


Figura 5 – Ação de cargas sobre um prédio.
 Fonte: Curso de Alvenaria Estrutural (Caixa Econômica Federal)

Para Rizzatti, et al. (2013), a Alvenaria Estrutural pode ser considerada como um sistema formado por materiais distintos que interagem para responder às cargas verticais e horizontais produzidas pelo peso próprio, pelo vento e por sismos, durante a sua vida útil, cuja natureza resistente é frágil à tração. Segundo os autores, o comportamento do conjunto depende não somente da qualidade de cada material empregado, mas também e principalmente das interações físico-químicas que se processam entre os materiais. Assim, deve-se tratar a parede de alvenaria estrutural não em função das características de seus materiais isoladamente, mas sim como um material compósito fruto da interação da unidade, da argamassa e, quando também usado, do graute. Dessa forma, é importante que se entenda perfeitamente o comportamento do “material alvenaria”, comportamento que varia de unidade para unidade com os diferentes tipos de argamassa e graute. Por essa razão, o desempenho estrutural de paredes de alvenaria não pode ser estimado sem a realização de testes com paredes ou prismas dos materiais que serão utilizados.

As principais propriedades mecânicas que devem apresentar as paredes de alvenaria são a resistência à compressão, à tração, à flexão, ou ao cisalhamento. De todas essas propriedades, a mais importante é a resistência à compressão, porque, geralmente, as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais, de características compressivas muito mais intensas que os carregamentos horizontais, produzidos pelos ventos ou sismos.

2.2.6 O Projeto de Alvenaria Estrutural

Um bom empreendimento em alvenaria estrutural começa por um projeto adequado. Entende-se por um projeto único, que integre todos os projetos específicos, de maneira que nenhum interfira sobre os demais, ocasionando problemas durante a construção. A coordenação de projetos é a atividade em que um responsável, geralmente o arquiteto ou o projetista estrutural, avaliando os diversos projetos, identificará as interferências e as inconsistências e solicitará, em função destas, alteração dos mesmos, de forma que o projeto final permita uma construção sem erros e sem necessidade de improvisações no canteiro de obras.

Assim, através do processo de coordenação, é possível elevar a qualidade do projeto global e, conseqüentemente, melhorar a qualidade da construção. Muitas medidas de racionalização e, praticamente, todas as medidas de controle de qualidade dependem de clara especificação na sua fase de concepção. Não é possível controlar uma atividade ou um produto, se suas características não se encontram perfeitamente definidas. Da mesma forma, a execução só poderá ser planejada de forma eficiente se o projeto apresentar todas as informações necessárias para o planejamento. Nos projetos de alvenaria estrutural, muito mais que nas obras convencionais, é fundamental e definitivo que haja uma completa interação entre os envolvidos na concepção do empreendimento, pois o resultado final é baseado na interdependência dos diversos projetos e na harmonia do conjunto (ALMEIDA, 1990).

Os principais objetivos da coordenação são estes:

- Promover a integração entre os participantes do projeto, garantindo a comunicação e a troca de informações entre os integrantes e as diversas etapas do empreendimento;
- controlar as etapas de desenvolvimento do projeto, de tal forma que este seja executado conforme as especificações e os requisitos previamente definidos (custos, prazos e especificações técnicas);
- coordenar o processo de tal forma que solucione as interferências entre as partes do projeto elaboradas pelos distintos projetistas;
- garantir a coerência entre o produto projetado e o modo de produção, com especial atenção para a tecnologia do processo construtivo utilizado.

De acordo com Rizzatti, et al. (2013), a melhor solução para cada situação de projeto é o resultado do equilíbrio das decisões e ações, empreendidas nesta fase, na busca do nível de

qualidade desejado. Isso remete ao fato de existirem diversos níveis de qualidade possíveis de serem alcançados, sendo sua determinação geralmente relacionada a exigência do público-alvo do empreendimento. Assim, ainda segundo os autores, as decisões de projeto devem ser coerentes com o nível de qualidade previsto, o que provocará resultados compatíveis com a expectativa. Caso contrário, obter-se-á um produto deficiente ou antieconômico para a classe à qual se destina.

2.2.6.1 Definição do Projeto arquitetônico

O projetista, considerando o processo construtivo diferenciado da alvenaria estrutural e suas particularidades de procedimentos, deve "pensar alvenaria estrutural". Além das condicionantes usuais, geralmente provenientes dos códigos de obra municipais, um projeto em alvenaria estrutural impõe restrições específicas aos projetistas. Entre essas se destacam as seguintes restrições:

- A limitação no número de pavimentos que é possível alcançar por efeito dos limites dos materiais disponíveis no mercado;
- o arranjo espacial das paredes e a necessidade de amarração entre os elementos;
- as limitações quanto à existência de transição para estruturas em pilotis no térreo ou em subsolos;
- a impossibilidade de remoção posterior de paredes estruturais.

Todos os projetos complementares influem nos condicionantes do projeto arquitetônico e são por este influenciados, pois o mesmo estabelece o partido geral do edifício. Por esse motivo, o sucesso do empreendimento dependerá de cuidadosa elaboração do projeto arquitetônico. Caso o partido arquitetônico não seja adequado, é muito difícil compensá-lo através de medidas tomadas nos projetos complementares ou em intervenções na obra.

2.2.6.2 Forma do Prédio

Rauber (2005) mostra que, no projeto arquitetônico, a forma de uma edificação é condicionada, muitas vezes, pela sua função e que isso ocorre pela necessidade de distribuição interna dos espaços. Assim, a forma da edificação pode determinar a distribuição das paredes, sobretudo estruturais. Afirma, ainda, que do ponto de vista estrutural pode-se dizer que, quanto mais robusta for uma edificação, maior sua capacidade de resistir as solicitações horizontais, principalmente a ação do vento, pois esses introduzem indesejáveis ações de tração na alvenaria. A robustez do prédio é função de sua volumetria.

A Normalização Brasileira prescreve que não há necessidade de considerar a ação do vento em edificações até quatro pavimentos em alvenaria estrutural. Assim, é possível explorar, com maior arrojo, as formas das edificações que se enquadram nesta situação. A forma geral e a planta do prédio são fortemente influenciadas pela geometria, orientação e dimensões do terreno, relação da edificação com o entorno imediato, necessidade de circulações internas, exigências legais de recuos, áreas mínimas de iluminação e ventilação, etc.

Rauber (2005) ressalta que os estudos realizados por Mascaró (1998) relacionam o comprimento das paredes externas da edificação com a área de planta baixa, o que fornece um parâmetro de custo da envolvente por área útil a ser construída e que ao contrário do que muitos pensam, edifícios em alvenaria estrutural podem apresentar elementos em balanço nas fachadas, projetados para fora da projeção da edificação, como sacadas e marquises. Em termos de desempenho, os autores afirmam que sacadas internas à projeção do edifício (nichos) ou com apenas uma parte avançando, em balanço, em relação à projeção da fachada, são mais aconselhadas, como mostra a figura 6 e que as sacadas em balanço podem ser resolvidas com as soluções apresentadas na figura 7:

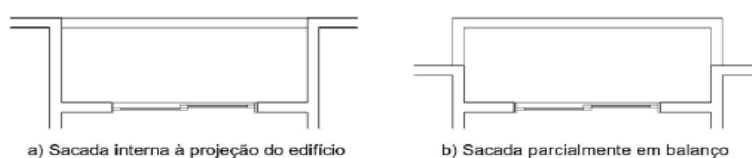


Figura 6 – Tipos de sacadas mais apropriadas para edifícios em alvenaria estrutural.

Fonte: Rauber, F.C. (2005)

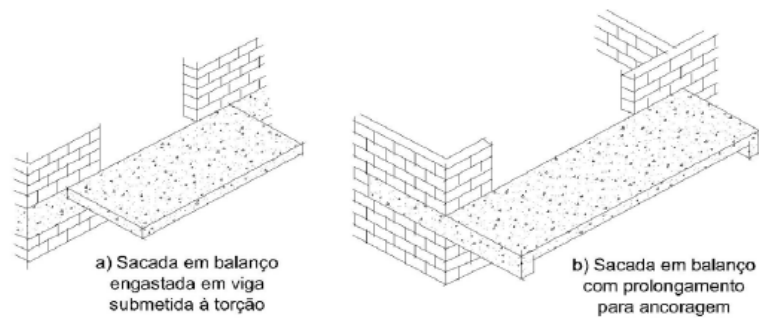


Figura 7 – Formas de introdução de sacadas em balanço.
Fonte: Rauber, F.C. (2005)

2.2.6.3 Comprimento e Altura Total das Paredes

Segundo Gallegos (1988) apud Rauber (2005), em cada direção (longitudinal e transversal) um edifício estruturalmente otimizado deve ter, no mínimo, em metros lineares de parede resistente, 4,2% da área total construída, a fim de assegurar certa uniformidade das solicitações laterais nas paredes, sem sobrecarregá-las, e que esses comprimentos totais devem ser aproximadamente iguais em cada uma das direções analisadas.

2.2.6.4 Escolha do bloco

A seguir deve-se definir o tipo de bloco a ser utilizado no projeto, levando-se em conta o projeto arquitetônico, a execução da obra, o custo da unidade e o seu fornecimento na região e as propriedades e características do material.

Coordenação modular é a técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado especial modular de referência (Roman, et al. 1999). Diz respeito a adoção de um módulo dimensional ao qual obedecerão as dimensões do projeto, que serão múltiplas desse módulo.

A modulação é a base do sistema de coordenação dimensional utilizado nos edifícios em alvenaria estrutural. O arquiteto deve conhecer as dimensões das unidades que serão utilizadas na construção e trabalhar sobre uma malha modular com medidas baseadas no

tamanho do componente a ser usado. A coordenação modular pode representar acréscimos de produtividade de cerca de 10%. O uso adequado da modulação permite evitar cortes e outros trabalhos de ajuste no canteiro que representariam perda de tempo, material e mão-de-obra.

Em muitos projetos são utilizadas mais de uma espessura de parede. Assim, deve-se ter o cuidado de dispor o layout em planta de tal maneira, que os comprimentos individuais de cada painel de parede fiquem modulados entre as paredes ortogonais que as limitam. Além das peças-padrão descritas, existem inúmeros modelos para aplicações mais específicas, tais como:

- bloco canaleta estrutural,
- meia canaleta estrutural, bloco hidráulico estrutural, bloco especial o estrutural de canto 45.

Este conjunto de blocos com funções diferenciadas é chamado de família de blocos. Cada componente da família tem funções definidas.

Assim, conforme Silva (2003), a definição do elemento padronizado é o ponto de partida para a modulação e, conseqüentemente, da racionalidade da obra. O quadro 4 apresenta as características dos blocos mais utilizados, referenciando a malha básica para a modulação da planta baixa do projeto. A coluna “dimensões padronizadas” apresenta a largura, altura e comprimento do bloco considerado, respectivamente.

Blocos	Tipo	Dimensões modulares (cm)	Dimensões padronizadas (cm)	Malha básica (cm)
Cerâmica	1	15 x 20 x 30	14 x 19 x 29	15 x 15
	2	20 x 20 x 30	19 x 19 x 29	15 x 15
Concreto		20 x 20 x 40	19 x 19 x 39	20 x 20
		15 x 20 x 40	14 x 19 x 39	20 x 20

Quadro 4: Dimensões modulares e malha básica para modulação
Fonte: (SILVA, 2003).

E quanto à modulação, Rizzatti, et al. (2013) mostram que ela é responsável por grande parte da racionalização obtida na alvenaria estrutural. Tendo como referência a coordenação modular em ambas as direções (vertical e horizontal), o projetista deve detalhar

as alvenarias, gerando plantas de primeira e segunda fiadas, bem como uma elevação de cada parede. Nas elevações devem constar a posição de cada bloco, a existência de pontos elétricos e hidráulicos, vergas, contravergas e armaduras.

Apresentam-se alguns passos práticos que, de maneira geral, devem ser seguidos para a elaboração da modulação do projeto arquitetônico em alvenaria estrutural:

- definição das medidas modulares “M” e “M/2”, sendo “M” o comprimento modular do bloco padrão utilizado;
- elaboração de anteprojeto arquitetônico considerando as dimensões internas dos compartimentos como múltiplas de M/2;
- lançamento da primeira fiada de blocos sobre o anteprojeto;
- ajustes de dimensões e lançamento da segunda fiada.

A etapa seguinte, segundo os mesmos autores, é, a partir da modulação da primeira e segunda fiadas, a produção das elevações das paredes, onde serão indicadas as posições de aberturas, vergas, contravergas, locais com armaduras construtivas e grauteamento, locação de pontos de instalação elétrica e todas as demais informações necessárias para o perfeito entendimento, por parte do executor, do elemento que ele estará produzindo. Recomenda-se, para facilitar a visualização, a utilização da escala 1:25 na representação gráfica tanto das plantas de fiadas quanto das elevações.

2.2.6.5 Amarração das paredes

A amarração efetiva das paredes é um ponto determinante na execução da alvenaria. Com a utilização dos blocos adequados, garante-se o intertravamento das unidades de alvenaria de forma simples e lógica, em todas as situações. Isto é, uma sequência padronizada que representa a disposição dos blocos para cada uma das amarrações.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a amarração pode ser efetuada de duas maneiras:

- a) Amarração direta: obtida por meio do intertravamento dos blocos, havendo interposição entre os blocos de 50% na parede interceptada;
- b) Amarração indireta: obtida por meio da colocação de armaduras nas juntas de argamassa, com ângulo de 90°, podendo ser efetuada por meio de barras de aço

dobradas, armadura industrializada em forma de treliças ou grampos, chapas ou telas metálicas de resistência comprovada.

2.2.6.6 Escolha da tipologia das lajes

A definição do tipo de laje também é um item de muita importância, pois a teoria de cálculo da alvenaria prevê que os esforços horizontais serão absorvidos pelas lajes e por elas transferidos às paredes de contraventamento e para que isso ocorra a laje deve estar devidamente solidarizada às paredes.

Normalmente, pela rigidez que conferem na distribuição dos esforços, as lajes maciças são as mais indicadas, mas tem o inconveniente de necessitarem de formas, escoramentos, confecção de armaduras mais complexas que afetam a construtibilidade da obra e diminuem a produtividade, segundo Rizzatti, et al. (2013). E que sob esta ótica, a utilização de lajes pré-fabricadas seria mais apropriado, mas que se deve levar em conta a recomendação de Roman et al. (1999) de que as lajes adjacentes sejam interligadas por barras de aço para que se garanta o comportamento desejado.

No caso de lajes armadas em uma só direção, deve-se também evitar que todas as lajes sejam armadas na mesma direção. A disposição das armaduras deve se dar alternadamente, conforme a figura 8, tomando-se o cuidado de equilibrar a quantidade de armaduras em ambos os sentidos.

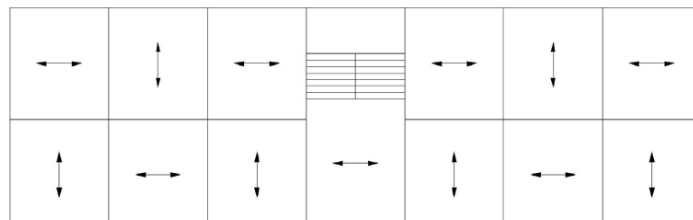


Figura 8 – Disposição recomendada das lajes armadas em uma só direção.
Fonte: Adaptado de Rauber, F.C. (2005)

2.2.6.7 Vergas e contravergas

Em alvenaria estrutural, a presença de vergas em portas e janelas, bem como contravergas em janelas é imprescindível. Estes elementos atuam de forma a absorver os esforços de tração nos cantos de aberturas, local de concentração de tensões.

O dimensionamento das vergas e contravergas deve ser efetuado em conformidade com o modelo preconizado pela Norma NBR 15961 (ABNT, 2011). Para fins de pré-dimensionamento, porém, pode-se adotar seu comprimento total como o somatório da largura do vão acrescido de quatro módulos dimensionais, considerando-se o transpasse necessário nos cantos das aberturas e o apoio da peça nas paredes (Figura 9).



Figura 9 - Verga e contraverga com transpasse adequado.
Fonte: Adaptado de Rauber,F.C. (2005)

2.2.6.8 Previsão de instalações

No projeto e execução das instalações do edifício é inconcebível o rasgo de paredes estruturais para inserir as instalações, por tratar-se de um sistema construtivo racionalizado. Rasgos de paredes significam retrabalho, desperdício, maior consumo de material e de mão-de-obra, bem como, e principalmente, insegurança sob o ponto de vista estrutural por efeito de redução da seção resistente.

Alternativas de projeto e execução:

- a utilização de paredes não estruturais para o embutimento das tubulações, agrupando-se as instalações hidrossanitárias de banheiros e cozinhas;
- a abertura de passagens tipo shafts para a passagem das tubulações.

A melhor alternativa, tanto do ponto de vista construtivo quanto da segurança estrutural, é o uso de shafts. Deve-se, no entanto, prestar atenção para a localização e a dimensão deles. O projetista arquitetônico deve procurar agrupar ao máximo as instalações, ou seja, situar banheiros e cozinhas na maior proximidade possível. Com isso economizará espaço na arquitetura e reduzirá a quantidade de shafts. Os shafts podem ter os mais variados tamanhos, dependendo do número de instalações que o projetista conseguir agrupar. Como regra, sugerem-se os tamanhos mínimos mostrados nas figuras abaixo:

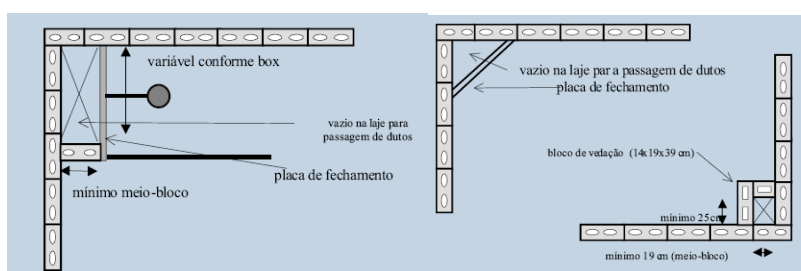


Figura 10 – Detalhes de shaft de alvenaria com blocos (19x19x39 cm).
Fonte: Adaptado do Curso de Alvenaria Estrutural (Caixa Econômica Federal)

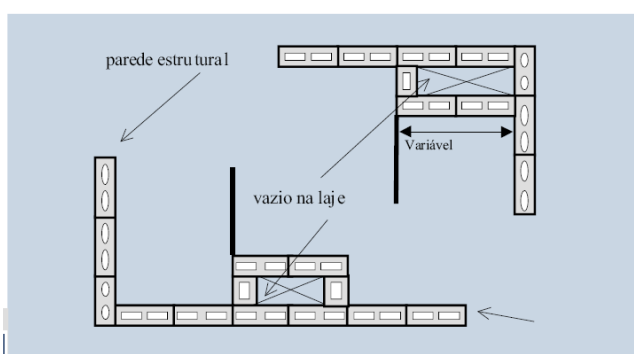


Figura 11 - Detalhes de shaft de alvenaria com blocos (19x19x39 cm).
Fonte: Adaptado do Curso de Alvenaria Estrutural (Caixa Econômica Federal)

2.2.7 Vantagens econômicas da Alvenaria Estrutural

Segundo Rizzatti, Mohamad. (2013), as constantes dificuldades devido ao aumento gradual da concorrência e dos níveis de exigência construtiva têm provocado nas empresas construtoras uma mudança nas estratégias, de forma a possibilitarem a introdução de melhorias na produção, empregando alternativas que levem à racionalização do processo. As principais perguntas das empresas construtoras em geral são: como garantir a habitabilidade e o desempenho do ambiente construído? E como ganhar dinheiro vendendo uma casa ou apartamento de 50.000 a 80.000 reais? Essas duas perguntas são fundamentais para entender o atual cenário brasileiro devido ao aumento do crédito para as construções de habitações de interesse social. Por isso, a alvenaria estrutural está sendo largamente utilizada como sistema construtivo capaz de responder as perguntas acima, pois é capaz de atender aos critérios de desempenho e custo.

A alvenaria estrutural tem diversas vantagens, onde a econômica é uma das principais devido a otimização de tarefas na obra, por meio de técnicas executivas simplificadas e facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, gerando uma diminuição no desperdício de materiais produzido pelo constante retrabalho. Como consequência, o sistema construtivo em alvenaria estrutural conseguiu proporcionar uma flexibilidade no planejamento das etapas de execução das obras. Isso tornou o sistema em alvenaria competitivo no Brasil, quando comparado com o concreto armado e com o aço. O quadro 12 apresenta a porcentagem de redução no custo de uma obra em alvenaria comparado com as estruturas convencionais (Wendler, 2005). Os dados apresentados no quadro 5 são custos relativos aproximados entre a estrutura convencional (concreto armado) e a alvenaria estrutural em função do número de pavimentos e da complexidade do empreendimento.

Com os dados do Quadro 5 se pode concluir que, para prédios de até quatro pavimentos acontece uma redução no custo da estrutura de 25 a 30%, quando comparado ao concreto armado. À medida que se aumenta o número de pavimentos essa redução diminui para valores em torno de 4 a 6%. Atualmente, com os vários programas de apoio a construção de habitações populares para baixa renda de até quatro pavimentos, tem levado as construtoras a adotarem o sistema construtivo em alvenaria estrutural como um método construtivo adequado aos padrões de exigência dos órgãos financiadores.

Característica da obra	Economia (%)
Quatro pavimentos	25-30
Sete pavimentos sem pilotis com alvenaria não armada	20-25
Sete pavimentos sem pilotis com alvenaria armada	15-20
Sete pavimentos com pilotis	12-20
Doze pavimentos sem pilotis	10-15
Doze pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	8-12
Dezoito pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	4-6

Quadro5 – Custos relativos aproximados entre as estruturas convencionais e a alvenaria estrutural. (Brasil)

Fonte: Wendler, A. (2005)

Segundo Wendler, A. (2005) uma característica marcante das obras de alvenaria estrutural é o fato do orçamento se aproximar muito mais do custo real apropriado na obra que as obras convencionais. Os imprevistos são muito menores, pois as interfaces de materiais diferentes são mínimas. Com a racionalização dos demais elementos induzida pela alvenaria (em especial nas instalações) o volume de quebras e entulhos é muito pequeno.

Assim, de acordo com Rizzatti, E, Mohamad, G. (2013) recomenda-se que, em havendo interesse na adoção de alvenaria estrutural, esta opção já esteja definida desde o início do empreendimento, para que se obtenham as vantagens técnicas e econômicas que levem à racionalização, gerando aumento de produtividade e redução de custos.

2.3 Custos

Segundo Tisaka (2006) num regime competitivo como o que vivemos na atualidade, se não tivermos um conhecimento adequado e suficiente na forma de calcular o orçamento ou os honorários, corremos o risco de darmos preços excessivamente elevados e forada realidade do mercado e, portanto, deixarmos de contratar com o cliente, ou darmos um preço insuficiente para cobrir os custos incidentes e ter grandes prejuízos, podendo até acarretar o encerramento das atividades.

Para o cálculo dos CUSTOS UNITÁRIOS é necessário que conheçamos a sua COMPOSIÇÃO, isto é, quanto de material vai ser utilizado, número de horas de pessoal qualificado e não-qualificado e o número de horas de equipamento a ser utilizado, por unidade desses serviços.

Um dos fatores que mais influenciam os custos indiretos da obra, e por consequência o BDI, é o tempo de duração da obra e também o porte da empresa pode influenciar na composição do custo, pois uma empresa de pequeno porte tem um menor custo administrativo, ou seja, quanto maior o porte da empresa maior a estrutura organizacional, portanto, um maior custo administrativo.

Como o BDI é calculado para um determinado prazo de obra, se por alguma razão houver uma demora além do prazo pré-estabelecido na orçamentação, a maioria dos custos, principalmente a mão-de-obra, tendem a aumentar proporcionalmente a essa dilatação de prazo.

Da mesma maneira, se o construtor conseguir executar a obra em menos tempo que o previsto estará ganhando mais com essa redução, desde que o faça com a mesma estrutura inicialmente prevista. Antecipação ou prorrogação dos prazos estabelecidos com os mesmos volumes de serviços interferem diretamente no custo final da obra.

Segundo Mattos (2006) orçar não é um mero exercício de futurologia ou jogo de adivinhação. Um trabalho bem executado com critérios técnicos bem estabelecidos, utilização de informações confiáveis e bom julgamento do orçamentista, pode gerar orçamentos precisos, embora não exatos, porque o verdadeiro custo do empreendimento é virtualmente impossível de se fixar de antemão. O que o orçamento realmente envolve é uma estimativa de custos em função da qual o construtor irá estabelecer seu preço de venda – este sim, bem estabelecido. A estimativa de custos – e o consequente estabelecimento do preço de venda é basicamente um exercício de previsão. Muitos são os itens que influenciam e contribuem para o custo de um empreendimento

A técnica orçamentária envolve a identificação, descrição, quantificação, análise e valorização de uma grande série de itens, requerendo, portanto, muita atenção e habilidade técnica. Como o orçamento é preparado antes da efetiva construção do produto, muito estudo deve ser feito para que não existam lacunas na composição do custo.

Um orçamento, normalmente é determinado somando-se os custos diretos (mão-de-obra, materiais e equipamentos) e os custos indiretos (equipes administrativas, equipes de

apoio, despesas gerais do canteiro, etc) adiciona-se os custos com impostos e para compor o preço final de venda adiciona-se o lucro.

Para a composição dos custos diretos Segundo Mattos (2006), as empresas podem ter composições próprias ou obtê-las em publicações especializadas, como a TCPO (Tabelas de Composições de Preços para Orçamento), da Editora PINI.

No caso de obras de edificações, um indicador bastante usado é o custo por metro quadrado construído. Inúmeras são as fontes de referência desse parâmetro, sendo o **Custo Unitário Básico (CUB)** o mais utilizado. O CUB/m² é calculado com base nos diversos projetos-padrão estabelecidos pela ABNT NBR 12721:2006, levando-se em consideração os lotes básicos de insumos (materiais de construção, mão de obra, despesas administrativas e aluguel de equipamentos), com os seus respectivos pesos na referida norma.

De acordo com o Sindicato da Indústria da Construção (SINDUSCON-2013), a metodologia de cálculo do CUB/m² é simples e permite a consecução de indicadores muito realistas. Os salários, os preços dos materiais, as despesas administrativas e os custos com aluguel de equipamentos são pesquisados mensalmente pelos Sindicatos da Indústria da Construção de todo o país.

O orçamento analítico constitui a maneira mais detalhada e precisa de se prever o custo de uma obra. Ele é efetuado a partir de composições de custos e cuidadosa pesquisa de preços dos insumos, chegando-se assim a custo bem próximo do real.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas:

1ª Etapa: foi escolhido um prédio na cidade de Santana do Livramento, que está sendo construído em concreto armado para ser objeto de estudo comparativo entre o processo em concreto armado e alvenaria Estrutural;

2ª Etapa: analisar e definir os subsistemas que são comuns aos dois processos construtivos;

3ª Etapa: definidos os subsistemas comuns aos dois processos construtivos, criaram-se

4ª Etapa: analisou-se comparativamente os índices definidos na terceira etapa, a partir parâmetros que possibilitem a definição de índices formadores dos subsistemas, para serem utilizados na comparação entre os processos; da definição dos subsistemas visando comparar os dois processos construtivos.

3.1 Edifício objeto do estudo de caso

Trata-se de uma edificação localizada na cidade de Santana do Livramento, na Rua Conde de Porto Alegre, com a denominação de Paseo do Conde, executada pela Construtora Rigui e o Projeto Estrutural de autoria do Engenheiro Civil Marcus T. Primo.

É um edifício residencial/comercial com área total de 3.500,14 m², executado originalmente no processo construtivo em concreto armado, constituído de seis pavimentos de apartamentos residenciais, de lojas no pavimento térreo e dois subsolos de garagem. O terreno encontra-se localizado em zona nobre e apresenta um desnível que propiciou a opção por dois subsolos de garagem.

As unidades são compostas de três dormitórios sendo uma suíte, banheiro de uso comum, estar/jantar com lareira e cozinha com área de serviço conjugada.

A figura 12 mostra a fachada do edifício



Figura 12 – Fachada do edifício em construção.
Fonte: acervo particular.

3.2 Escolha dos subsistemas

Os subsistemas estrutura, vedação e revestimento foram os escolhidos para o comparativo deste estudo de caso, por representarem um percentual elevado no custo de uma obra e por serem os que apresentam maior variação entre o processo construtivo em concreto armado e o processo construtivo em alvenaria estrutural. Os projetos, as fundações, as instalações elétricas e hidro-sanitárias, a pintura, a cobertura, etc.. são subsistemas comuns aos dois processos construtivos, não representando diferença substancial no comparativo de custos desses processos construtivos.

3.3 Proposta de estudo definida

- a) Processo construtivo:

- Convencional em concreto armado;
 - Em alvenaria estrutural.
- b) Altura da edificação:
- Edifício de 6 (seis) pavimentos.
- c) Etapas Consideradas:
- Estrutura;
 - Vedação: neste item foram considerados para a estrutura de concreto armado a vedação, e para a alvenaria estrutural a vedação, quantidade de aço e graute;
 - Revestimentos.
- d) Serviços e Insumos:
- Concreto;
 - Aço;
 - Formas;
 - Alvenaria (parede, aço, graute);
 - Revestimentos (reboco interno e reboco externo).

3.4 Descrição dos processos construtivos

3.4.1 Processo construtivo em concreto armado

O edifício deste estudo de caso está sendo construído no processo construtivo em concreto armado onde foram adotadas segundo informações dos responsáveis pela execução do edifício, na infraestrutura as fundações utilizadas foram profundas do tipo estacas Strauss moldadas “in loco” diâmetro de 400 mm, sobre estas foram realizados blocos de coroamento com dimensões variáveis e posterior execução de viga baldrame.

A supraestrutura utilizada foi constituída por pilares, vigas e lajes maciças em concreto armado, cujas dimensões e locações em planta estão apresentadas no anexo 2. Por tratar-se de um edifício estruturado, as alvenarias são de vedação e executadas com blocos cerâmicos furados nas dimensões 9x14x19 cm, assentados com argamassa produzida no canteiro. O blocos foram assentados de forma tal que a espessura da parede pronta fosse de 14 cm.

O projetista responsável pela estrutura adotou nas especificações do projeto, como resistência característica do concreto (f_{ck}), o valor de 30 MPa, aços CA-50 e CA-60;

Segundo informação dos responsáveis da empresa construtora, os revestimentos interno e externo foram executados com argamassa misturada no canteiro de obra e com espessura média de 2,00 cm, fato constatado durante o acompanhamento que se fez à obra durante o período de execução deste subsistema.

3.4.2 Processo construtivo em alvenaria estrutural

A opção em alvenaria estrutural (AE), processo comparativo deste estudo de caso, busca a obtenção de dados que possibilitem subsídios para comprovar se o processo em AE é mais econômico que o processo em concreto armado (CA).

A fim de obter os dados necessários à comparação entre os processos projetou-se o edifício deste estudo de caso em alvenaria estrutural (anexo 1) com modulações de 1ª e 2ª fiadas dos pavimentos tipo e elevações das paredes mais solicitadas.

Adotou-se, para o subsistema estrutura, laje maciça, vigas de respaldo, vergas e contra-vergas, utilizando em sua composição aço CA-50. Para o subsistema vedação, utilizou-se bloco cerâmico com dimensões 14 x 19 x 29 cm, com resistência de 8 MPa e argamassa de assentamento de 6 MPa atendendo o descrito na NBR 13281 (ABNT, 2005) de $0,7 f_{bk}$ (resistência característica do bloco) referida à área líquida e por ser responsável pela transferência de tensões, necessitando grande controle da qualidade final do produto optou-se por utilizar a argamassa industrializada da marca Fida, produto de obtenção mais fácil na região do estudo de caso. O graute na alvenaria foi utilizado como material de enchimento em reforços estruturais, em zonas de concentração de tensões com a finalidade de solidarizar o bloco às ferragens e, para absorver os esforços de tração, foi utilizado no traço 1:2:3

(cimento: areia: brita 0). Os revestimentos interno e externo foram previstos com argamassa misturada no canteiro de obra e com espessura 0,90 cm e 2,00 cm respectivamente.

3.5 Parâmetros de comparação adotados

Como buscou-se uma análise comparativa de custos para construção, definiu-se os materiais e serviços que podem representar uma diferença substancial entre os dois processos construtivos adotados.

Entre os modelos construtivos em concreto armado e alvenaria estrutural, as diferenças substanciais são encontradas nos subsistemas estrutura, vedação e revestimento. Segundo Mattos (2006), os subsistemas comparados neste estudo de caso representam de 36% a 40% do custo total da obra. Já Vargas (2010) afirma que os três subsistemas (estrutura, vedação e revestimento) representam de 34% a 38%, podendo sofrer alguma variação dependendo da peculiaridade de cada edificação. Para este estudo de caso adotar-se-á que os três subsistemas representam 35% do custo total da obra, valor aproximado segundo informação da construtora do custo efetivo da obra no processo construtivo em concreto armado, do Edifício Paseo do Conde, em Santana do Livramento.

Optou-se por um modelo construtivo que possibilite algum tipo de economia em algumas etapas, pois temos subsistemas como pintura, instalações elétricas, instalações hidráulicas, cobertura e esquadrias que são comuns a todos os processos construtivos tendo como variação de custos apenas o padrão da edificação não sendo necessário a sua abordagem no referido comparativo.

Segundo Silva (2003), os parâmetros adotados para o estudo visando a análise comparativa dos custos para os dois processos construtivos, são os que seguem:

- Índice de concreto (I_c)

Segundo a ABNT - NBR 12721 (2005), é obtido pela equação (1) através da razão do consumo total de concreto (em m^3) e a área total da edificação (em m^2). O cálculo será feito individualmente para lajes, vigas e pilares. Levantou-se o volume total de concreto utilizado no edifício motivo deste estudo de caso, no processo construtivo em concreto armado e no

volume de concreto previsto a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural.

$$(1) \quad I_c = V(\text{m}^3) / A (\text{m}^2)$$

- Índice de aço (I_a)

É obtido pela equação (2) através da razão entre o consumo total de aço (peso em kg) e a área total da edificação (em m^2). O cálculo será feito individualmente para lajes, vigas e pilares. Levantou-se o volume total de concreto utilizado no edifício motivo deste estudo de caso no processo construtivo em concreto armado e no volume de concreto previsto a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural.

$$(2) \quad I_a = P(\text{kg}) / A (\text{m}^2)$$

- Índice de forma (I_f)

É obtido pela equação (3) através da razão entre a área total de forma (em m^2) e a área total da edificação (em m^2). O cálculo será feito individualmente para lajes, vigas e pilares. Levantou-se a área total de formas utilizada no edifício motivo deste estudo de caso no processo construtivo em concreto armado e a área total de formas prevista a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural.

$$(3) \quad I_f = AF(\text{m}^2) / A (\text{m}^2)$$

- Índice de paredes (I_p)

É obtido pela equação (4) através da razão entre a área total de paredes (m^2), medida em elevação descontando a área (em m^2) correspondente aos vãos de portas e janela e a área total da edificação (em m^2). Levantou-se a área total de alvenaria de blocos cerâmicos no

edifício motivo deste estudo de caso no processo construtivo em concreto armado e a área total de alvenaria de blocos cerâmicos prevista a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural.

$$(4) \quad I_p = AP \text{ (m}^2\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)}$$

- Índice de graute (I_g)

É obtido pela equação (5) através da razão entre o volume total de graute (em m^3) utilizado na edificação e a área total da edificação (em m^2). Só no modelo construtivo em alvenaria estrutural que este índice será calculado. Levantou-se o volume total de graute previsto a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural.

$$(5) \quad I_g = V(\text{m}^3) / A \text{ (m}^2\text{)}$$

- Índice de aço na alvenaria (I_{ap})

É obtido pela equação (6) através da razão entre o peso total de aço (em kg) utilizado na edificação e a área total da edificação (m^2). Só no modelo construtivo em alvenaria estrutural que este índice será calculado, (laje pre-moldada, vigas de respaldo, vergas e contra-vergas). Levantou-se o peso total de aço utilizado a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural.

$$(6) \quad I_{ap} = P(\text{kg}) / A \text{ (m}^2\text{)}$$

- Índice de revestimento externo. (I_{re})

É obtido pela equação (7) através da razão entre a área externa total de revestimento (em m^2), adotando como espessura padrão 2,5 cm, medida em elevação, descontando-se a

área correspondente aos vãos das portas e janelas (em m²) e a área total da edificação (em m²). Levantou-se o área total de reboco externo no edifício motivo deste estudo de caso no processo construtivo em concreto armado e na área total de reboco externo previsto a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural com a espessura adotada.

$$(7) \quad I_{re} = A_{re} \text{ (m}^2\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)}$$

- Índice de revestimento interno. (Iri)

É obtido pela equação (8) através da razão entre a área interna total de revestimento (em m²), adotando como espessura padrão 1,0 cm, medida em elevação, descontando-se a área correspondente aos vãos das portas e janelas (em m²) e a área total da edificação (em m²). Levantou-se o área total de reboco interno no edifício motivo deste estudo de caso no processo construtivo em concreto armado e na área total de reboco interno previsto a partir do levantamento dos quantitativos no projeto em alvenaria estrutural com a espessura adotada.

$$(8) \quad I_{ri} = A_{ri} \text{ (m}^2\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)}$$

3.6 Levantamento de quantitativos

No processo em Concreto Armado os consumos referentes ao índice de concreto, índice de aço, índice de forma, índice de paredes, foram obtidos pelo levantamento de quantitativos obtidos nos respectivos projetos do edifício do estudo de caso, já no caso do índice de revestimento externo e índice de revestimento interno foram obtidos fazendo-se uma média a partir das espessuras verificadas “in loco” durante a execução do edifício.

No processo em Alvenaria Estrutural os consumos referentes ao índice de concreto, índice de aço, índice de forma, índice de paredes, índice de graute, índice de aço na alvenaria, índice de revestimento externo e índice de revestimento interno foram obtidos pelo

levantamento de quantitativos a partir do projeto (anexo 2) desenvolvido em alvenaria estrutural do edifício que serviu de base para o estudo de caso.

No quadro 6 é apresentado o resumo dos parâmetros adotados para comparação.

Índice	Etapa	Unidade	Tipologias onde existe o índice	
			Concreto Armado	Alvenaria Estrutural
Ic	Lajes	m ³ /m ²	✓	✓
	Vigas	m ³ /m ²	✓	
	Pilares	m ³ /m ²	✓	
Ia	Lajes	kg/m ²	✓	✓
	Vigas	kg/m ²	✓	
	Pilares	kg/m ²	✓	
If	Lajes	m ² /m ²	✓	✓
	Vigas	m ² /m ²	✓	
	Pilares	m ² /m ²	✓	
Ip	Alvenaria	m ² /m ²	✓	✓
Iap	Alvenaria	kg/m ²		✓
Ig	Alvenaria	m ³ /m ²		✓

Quadro 6 – Resumo dos parâmetros adotados para comparação.

3.7 Cálculo do custo

Para definir o custo unitário dos serviços de cada etapa do edifício relativo a este estudo de caso levou-se em consideração apenas o custo de execução dos serviços de cada etapa individualmente, sem computar na sua composição custos relativos às outras etapas do processo, como por exemplo: custos administrativos, custo do terreno, taxas de aprovação e regularização da obra junto aos órgãos pertinentes, custos de corretagem e responsabilidade técnica, pois se considera estes como comuns aos dois métodos construtivos frutos deste comparativo.

Os dados relativos aos quantitativos (composições) para a consolidação dos custos foram obtidos no TCPO 13ª edição - Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (PINI, 2010).

Os valores adotados são os preços médios que foram praticados no mês de agosto de 2014, sendo o CUB/RS (Custo Unitário Básico calculado pelo SINDUSCON/RS) que correspondia a R\$ 1.171,57. Para a composição dos preços médios tanto de insumos como de mão de obra foram os praticados no âmbito local quando da execução do edifício no processo em concreto armado e do custo estimado para a execução do mesmo edifício no processo construtivo em alvenaria estrutural dando origem a este estudo de caso.

Como na região de Santana do Livramento o processo construtivo em alvenaria estrutural ainda não é difundido nem mesmo existindo um exemplo físico já executado, considerou-se todos os custos para execução como sendo comuns para os dois processos, até mesmo com relação à mão de obra utilizada; pois o valor para treinamento de capacitação não teria um impacto considerável nos custos. Por este motivo, o resultado deste estudo de caso permite que seja feito um comparativo unitário de cada etapa da execução adotando-se os valores unitários como base comparativa dos dois processos construtivos.

As empresas locais poderão, a partir destes custos unitários, vislumbrar outra opção de melhor resultado final no processo construtivo e, ainda, com as particularidades de cada empreendimento, o empreendedor poderá obter resultados ainda mais satisfatórios. O resultado deste estudo de caso permite que, para os valores unitários encontrados, pode-se fazer uma analogia no custo construtivo para obras com características construtivas semelhantes.

O quadro 7 representa esquematicamente a metodologia utilizada neste estudo de caso. Os índices foram calculados para os subsistemas elencados para composição de custos do processo comparativo, originando o custo para execução de 1,00 m² do empreendimento.

Item	Discriminação	Índice	Custo Unitário R\$/m ²	Custo R\$/m ²
1.	Estrutura			
1.1	Concreto	Ic	a	Ic x a
1.2	Aço	Ia	b	Ia x b
1.3	Formas	If	c	If x c
2.	Vedações			
2.1	Paredes	Ip	d	Ip x d
2.2	Aço	Iap	e	Iap x e
2.3	Graute	Ig	f	Ig x f
3.	Revestimento			
3.1	Rev. Interno	Iri	h	Iri x h
3.2	Rev. Externo	Ire	i	Ire x i
			Σ custos R\$/m ²	Custo Total R\$/m ²

Ic: índice de concreto/Ia: índice de aço/If: índice de formas/Ip: índice de paredes/Iap: índice de aço na alvenaria/Ig: índice de graute/Iri: índice de revestimento interno/Ire: índice de revestimento externo

Quadro 7 – Os índices calculados para cada subsistema permitem o cálculo unitário para os dois processos construtivos do estudo de caso.

3.7.1 Cálculo dos consumos e índices

Para cada uma das situações estudadas neste estudo de caso, são apresentados a seguir os consumos obtidos e seus índices, sendo analisados separadamente em subsistemas relativos a estrutura, vedação e revestimentos para concreto armado (CA) e alvenaria estrutural (AE).

Nas tabelas 1,2 e 3 apresenta-se o levantamento do consumo dos materiais utilizados para cada subsistema considerando-se para o processo construtivo em concreto armado o que efetivamente foi consumido na execução das etapas e para o processo construtivo em alvenaria estrutural os quantitativos obtidos no projeto executado em AE (anexo 1) e, a partir dos resultados obtidos, através das equações (1,2,3,4,5,6,7 e 8) seus respectivos índices, considerando-se a área total do edifício do estudo de caso de 3.500,14 m².

TABELA 1

	Estrutura	Área de forma m ²	Aço Kg	Concreto m ³	Processo Construtivo
Pilares					
Consumo		1.256,10	16.198,00	150,55	CA
Índice		0,3589	4,6278	0,0430	
Consumo		0,00	0,00	0,00	AE
Índice		0,00	0,00	0,00	
Vigas					
Consumo		2.713,32	19.556,90	151,11	CA
Índice		0,7752	5,5874	0,0432	
Consumo		560,00	5.700	60,00	AE
Índice		0,1599	1,62	0,017	
Lajes					
Consumo		2.943,91	12.741,50	257,23	CA
Índice		0,8411	3,6403	0,0735	
Consumo		2.943,91	12.741,50	257,23	AE
Índice		0,8411	3,6403	0,0735	

Tabela 1 – Consumo e índice do subsistema estrutura para os dois processos construtivos concreto armado (CA) e alvenaria estrutural (AE).

TABELA 2

	Vedações	Alvenaria m ²	Aço Kg	Graute m ³	Processo Construtivo
Alvenaria					
Consumo		4.807,97	0,00	0,00	CA
Índice		1,373	0,00	0,00	
Consumo		5.226,06	6.376,59	44,244	AE
Índice		1,4931	1,8218	0,0126	

Tabela 2 – Consumo e índice do subsistema vedações para os dois processos construtivos concreto armado (CA) e alvenaria estrutural (AE).

TABELA 3

	Revestimentos	Espessura cm	Área total m ²	Processo Construtivo
Reboco interno				
Consumo		2,00	9.571,92	CA
Índice			5,4694	
Consumo		0,90	9.571,92	AE
Índice			2,4612	
Reboco externo				
Consumo		2,00	1.851,36	CA
Índice			0,4232	
Consumo		2,00	1.851,36	AE
Índice			0,4232	

Tabela 3 – Consumo e índice do subsistema revestimento para os dois processos construtivos concreto armado (CA) e alvenaria estrutural (AE).

4 RESULTADOS

4.1 Cálculo dos custos e consumos

O quantitativo referente aos materiais utilizados para a realização de todos os subsistemas foram obtidos na TCPO 13ª edição – Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (PINI, 2010) e para a mão de obra foram adotados os valores praticados na execução do edifício em concreto armado utilizado neste estudo de caso, e para o processo construtivo em alvenaria estrutural foram adotados os mesmos valores para todos os insumos com exceção da mão de obra, onde foi adotado o custo praticado em outras cidades da região (como Bagé e Alegrete, por exemplo) onde o processo construtivo em alvenaria estrutural já é utilizado.

4.1.1 Formas

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais necessários para a execução de 1,0 m² de formas e a quantidade de mão-de-obra para a execução de 1,0 m² de formas. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de 1,0 m² de forma, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 4

Forma				
Chapa compensado resinado e = 12mm	m ²	0,43	14,8	6,364
Tábua cedrinho 3 ^a 1 x 12"	m	1,60	5,22	8,352
Sarrafo de pinho 10 x 2,5 cm (gravatas)	m	1,53	2,33	3,5649
Pontalete de pinho 3 x 3" (escoramento)	m	2,00	3,07	6,14
Prego 18x27, 13x18, 17x21	Kg	0,25	9,00	2,25
Desmoldante	l	0,10	4,78	0,478
Carpinteiro	h	1,35	5,33	7,1955
Servente	h	1,35	4,66	6,291
Custo unitário				40,6354

Tabela 4 – Consumo e custo unitário do insumo forma.

4.1.2 Armadura de aço CA-60 até 6.3 mm – estrutura

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais necessários para execução de armadura com base de referência 1,0 kg de aço CA-60 até 6.3 mm e a quantidade de mão-de-obra para corte e dobra de 1,0 kg de aço. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de armadura utilizando de 1,0 kg de aço, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 5

Armadura de aço CA-60 até 6.3 mm – estrutura				
Aço CA-60	Kg	1	3,46	3,46
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm/bitola 18)	Kg	0,02	6,1	0,122
Armador	h	0,07	5,33	0,3731
Ajudante de armador	h	0,07	4,66	0,3262
Custo unitário				4,2813

Tabela 5 – Consumo e custo unitário do insumo aço CA-60

4.1.3 Armadura de aço CA-50 (até 10 mm) – estrutura

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais necessários para execução de armadura com base de referência 1,0 kg de aço CA-50 até 10 mm e a quantidade de mão-de-obra para corte e dobra de 1,0 kg de aço. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de armadura utilizando de 1,0 kg de aço, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 6

Armadura de aço CA-50 (até 10 mm) – estrutura				
Aço CA-50	Kg	1	3,72	3,72
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm/bitola 18)	Kg	0,02	6,1	0,122
Armador	h	0,08	5,33	0,4264
Ajudante de armador	h	0,08	4,66	0,3728
Custo unitário				4,6412

Tabela 6 – Consumo e custo unitário do insumo aço CA-50 até 10mm

4.1.4 Armadura de aço CA-50 (12,5 a 25 mm) – estrutura

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais necessários para execução de armadura com base de referência 1,0 kg de aço CA-60 de 12.5 a 25 mm e a quantidade de mão-de-obra para corte e dobra de 1,0 kg de aço. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de armadura utilizando de 1,0 kg de aço, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 7

Armadura de aço CA-50 (12,5 a 25 mm) – estrutura				
Aço CA-50	Kg	1	3,02	3,02
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm/bitola 18)	Kg	0,02	6,1	0,122
Armador	h	0,1	5,33	0,533
Ajudante de armador	h	0,1	4,66	0,466
Custo unitário				4,141

Tabela 7 – Consumo e custo unitário do insumo aço CA-50 de 12,5 a 25mm.

4.1.5 Armadura de aço CA-50 (até 10 mm) – alvenaria

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais necessários para execução de armadura com base de referência 1,0 kg de aço CA-50 até 10 mm e a quantidade de mão-de-obra para corte e dobra de 1,0 kg de aço. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de armadura utilizando de 1,0 kg de aço, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 8

Armadura de aço CA-50 (até 10 mm) – alvenaria				
Aço CA-50	Kg	1	3,72	3,72
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm/bitola 18)	Kg	0,02	6,1	0,122
Armador	h	0,05	5,33	0,2665
Ajudante de armador	h	0,05	4,66	0,233
Custo unitário				4,3415

Tabela 8 – Consumo e custo unitário do insumo aço CA-50 até 10mm.

4.1.6 Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais e mão-de-obra necessários para execução de 1,0 m² de alvenaria estrutural com blocos . Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de 1,0 m² de alvenaria, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 9

Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos				
Argamassa	Kg	35	1	35
Bloco cerâmico vazado	un	13,6	1,48	20,128
Pedreiro	h	0,7	10,66	7,462
Servente	h	0,7	4,66	3,262
Custo unitário				65,852

Tabela 9 – Consumo e custo unitário do insumo blocos de alvenaria estrutural.

4.1.7 Graute - preparo e lançamento

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais e de mão-de-obra necessários para a execução de 1,0 m³ de graute. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de 1,0 m³ de graute, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 10

Graute - preparo e lançamento				
Cimento	Kg	305	0,5	152,5
Areia	m ³	0,455	43	19,565
Brita 0	m ³	0,635	90	57,15
Pedreiro	h	5	5,33	26,65
Servente	h	18	4,66	83,88
Custo unitário				339,745

Tabela 10 – Consumo e custo unitário do insumo graute.

4.1.8 Concreto fck 30 MPa - concreto e lançamento

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais necessários para a execução de 1,0 m³ de concreto e a quantidade de mão-de-obra para a concretagem de 1,0 m³. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de 1,0 m³ de concreto, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 11

Concreto fck 30 Mpa - concreto e lançamento				
Concreto dosado em central fck 30 Mpa	m ³	1	400	400
Pedreiro	h	5	5,33	26,65
Servente	h	8	4,66	37,28
Custo unitário				463,93

Tabela 11 – Consumo e custo unitário do insumo concreto.

4.1.9 Revestimento interno e=1,00 cm

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais e mão-de-obra necessários para a execução de 1,0 m² de reboco interno com espessura de 1,0 cm. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de 1,0 m² de reboco, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 12

Revestimento interno e=1,00 cm				
Cimento	Kg	1,62	0,5	0,81
Areia média	m ³	0,015	43	0,645
Cal hidratada	Kg	2,55	0,36	0,918
Pedreiro	h	1	5,33	5,33
Servente	h	1,45	4,66	6,757
Custo unitário				14,46

Tabela 12 –Consumo e custo unitário do insumo revestimento interno.

4.1.10 Revestimento externo e=2,50 cm

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais e mão-de-obra necessários para a execução de 1,0 m² de reboco externo com espessura de 2,5 cm. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de 1,0 m² de reboco externo, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 13

Revestimento externo e=2,50 cm				
Cimento	Kg	3,24	0,5	1,62
Areia média	m ³	0,0304	43	1,3072
Cal hidratada	Kg	5,07	0,36	1,8252
Pedreiro	h	1,1	5,33	5,863
Servente	h	1,45	4,66	6,757
Custo unitário				17,3724

Tabela 13 –Consumo e custo unitário do insumo revestimento externo

4.1.11 Alvenaria blocos vazados tijolos 6 furos

Para a composição deste item, foram obtidos na TCPO (PINI, 2010) a quantidade de materiais e mão-de-obra necessários para execução de 1,0 m² de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos 9x14x19 cm. Desta forma o custo unitário total (material + mão de obra) para a execução de 1,0 m² de alvenaria, foi obtido pelo somatório da resultante da multiplicação do custo unitário de cada material integrante deste item e da mão de obra utilizada.

TABELA 14

Alvenaria blocos vazados tijolos 6 furos				
Cimento	Kg	12,74	0,5	6,37
Cal hidratada	Kg	12,74	0,36	4,5864
Areia média	m ³	0,0812	43	3,4916
Tijolo furado	un	50	0,4	20
Pedreiro	h	0,7	5,33	3,731
Servente	H	0,7	4,66	3,262
Custo unitário				41,441

Tabela 14 – Consumo e custo unitário do insumo blocos de alvenaria de vedação.

4.2 Análise comparativa de custos

O objetivo geral do trabalho é fazer a análise comparativa de custos dos dois processos construtivos adotados no estudo de caso. O custo unitário final foi obtido através da soma do custo unitário de cada um dos componentes da edificação que foi considerado como parâmetro nas duas tipologias multiplicando-se os mesmos pelos respectivos índices de consumo.

Os índices calculados e os consumos referentes aos dois processos construtivos integrantes do estudo de caso, são apresentados a seguir no item 4.2. O Item 4.3 analisa o cálculo do custo unitário total para cada um dos componentes que serviram como parâmetro.

Adotou-se como referência o modelo que apresentou o menor custo unitário total individualmente entre os dois modelos construtivos analisados, no quadro a seguir estão apresentados os resultados obtidos através da metodologia adotada, sendo apresentado o custo unitário total em R\$, que é o quociente entre o custo unitário total do processo construtivo analisado e o custo unitário total do processo construtivo de referência. Elaborou-se a Tabela 15 com base nos resultados obtidos no comparativo do estudo de caso, em relação aos custos dos subsistemas analisados.

A partir dos subsistemas analisados (estrutura, vedação e revestimento), obteve-se como resultado que o custo construtivo de 1,0 m² de obra no processo construtivo em alvenaria estrutural é de R\$ 251,16 e que o custo construtivo de 1,0 m² de obra no processo construtivo em concreto armado é de R\$ 342,07, portanto adotou-se como sendo o custo de referência o obtido no processo construtivo em alvenaria estrutural.

Tabela 15 - Comparativo de custo para o estudo de caso.

Estudo de Caso	Modelo Convencional em Concreto Armado	Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos
Custo em R\$	R\$ 342,07	R\$ 251,16
Custo de referência	1,362	1,00
Variação	36,20%	Referência

A Figura 13 apresentada a seguir demonstra o comparativo de custos:

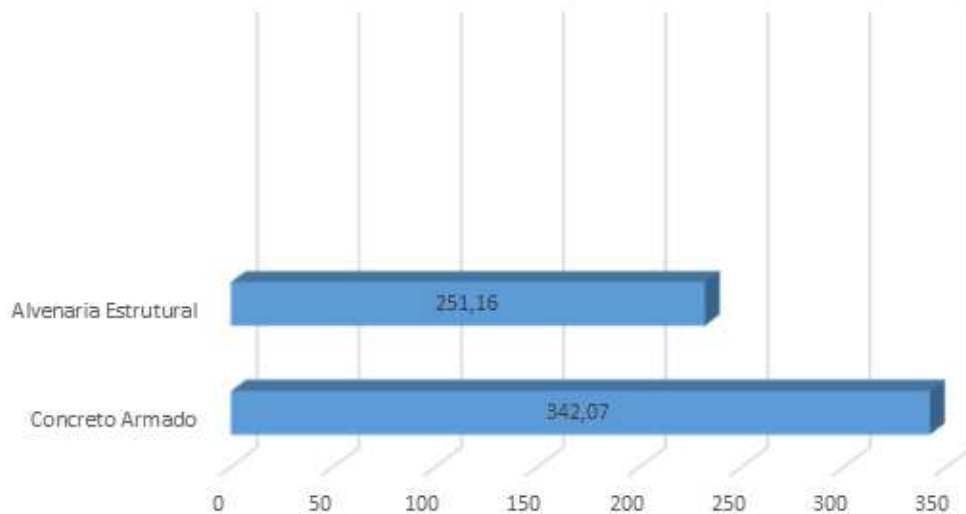


Figura 13 - Comparativo de custo por m2 dos subsistemas considerados no estudo de caso.

Considera-se que os elementos construtivos que não integram este estudo de caso são comuns aos dois processos construtivos sendo que os padrões de acabamento são iguais e que os custos unitários são referentes aos subsistemas analisados (estrutura, vedação e revestimento).

A partir dos dados levantados, constatou-se que o custo de construção dos subsistemas comuns aos dois modelos construtivos é superior em 36,2% na opção em Concreto Armado.

Apresenta-se a seguir a Tabela 2 que compara os custos para cada subsistema:

Tabela 16 - Comparativo de custos para cada subsistema dos dois processos construtivos.

Modelo Construtivo	Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos	Concreto Armado
ESTRUTURA		1,96 +96%
Aço	1,00	2,41 +141%
Fôrma	1,00	1,97 +97%
Concreto	1,00	1,76 +76%

A partir dos dados obtidos na tabela 16, utilizando o processo construtivo em alvenaria estrutural como sendo o de referência por ter um custo unitário construtivo menor que o processo construtivo em concreto armado, nos subsistemas (estrutura, vedação e revestimento), tem-se que no insumo aço o processo construtivo em CA é 141% mais caro que no processo em AE, no insumo forma o processo construtivo em CA é 97% mais caro que no processo em AE e no insumo concreto o processo construtivo em CA é 76% mais caro que no processo em AE, sendo que no conjunto o subsistema estrutura no processo construtivo em CA, 96% mais caro que o processo construtivo em AE.

Tabela 17 - Comparativo de custos do subsistema vedação para cada um dos dois processos construtivos.

Modelo Construtivo	Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos	Concreto Armado
VEDAÇÃO		0,53- 47%
Alvenaria	1,00	0,57 -43%
Aço	1,00	0,00 -
Graute	1,00	0,00 -

A partir dos dados obtidos na tabela 17, utilizando o processo construtivo em alvenaria estrutural como sendo o de referência por ter um custo unitário construtivo menor que o processo construtivo em concreto armado, nos subsistemas (estrutura, vedação e revestimento), tem-se que no insumo alvenaria o processo construtivo em CA é 43% mais econômico que no processo em AE, nos demais insumos do subsistema vedação (aço e graute) por não ser comum aos dois processos não podem ser comparados, sendo o conjunto do subsistema vedação no processo construtivo em CA, 47% mais econômico que o processo construtivo em AE.

Tabela 18 - Comparativo de custos do subsistema revestimento para cada um dos dois processos construtivos.

Modelo Construtivo	Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos	Concreto Armado
REVESTIMENTO		2,01+101%
Interno	1,00	2,22+122%
Externo	1,00	1,00 0,00%

A partir dos dados obtidos na tabela 18, utilizando o processo construtivo em alvenaria estrutural como sendo o de referência por ter um custo unitário construtivo menor que o processo construtivo em concreto armado, nos subsistemas (estrutura, vedação e revestimento), tem-se que o insumo revestimento interno no processo construtivo em CA é 122% mais caro que no processo em AE, o insumo revestimento externo tem o mesmo custo nos dois processos, sendo que no conjunto o subsistema revestimento é no processo construtivo em CA, 101% mais caro que o processo construtivo em AE.

Tabela 19 – Variação do custo construtivo para os dois processos construtivos.

Modelo Construtivo	Alvenaria Estrutural com blocos cerâmicos	Concreto Armado
Referencial	1,00	1,362
Variação		+36,2%

A partir dos dados obtidos na tabela 19, utilizando o processo construtivo em alvenaria estrutural como sendo o de referência por ter um custo unitário construtivo menor que o processo construtivo em concreto armado, nos subsistemas (estrutura, vedação e revestimento), obteve-se que no conjunto geral dos três subsistemas comparados, o processo construtivo em CA é, aproximadamente 36,2% mais caro que o processo construtivo em AE.

4.2.1. Análise comparativa dos índices calculados

Para a composição dos índices de cada subsistema, somou-se o resultado de todos os índices integrantes do subsistema no processo construtivo em concreto armado e no processo

construtivo em alvenaria estrutural, por exemplo, os somatórios dos índices que aparecem em mais de uma etapa do processo construtivo:

Tabela 20 – Índices de formas do subsistema estrutura para os dois processos construtivos.

Processo Construtivo	Subsistema	If Laje	If Viga	If pilar	Índice total do subsistema
Concreto Armado	Estrutura	0,8411	0,7752	0,3589	1,9752
Alvenaria Estrutural	Estrutura	0,8411	0,1599	0,0000	1,0010

If: índice de formas

$$\text{CA} \quad \text{If lajes} + \text{If vigas} + \text{If pilares} = 0,8411 + 0,7752 + 0,3589 = 1,9852$$

$$\text{AE} \quad \text{If lajes} + \text{If vigas} + \text{If pilares} = 0,8411 + 0,1599 + 0,0000 = 1,0010$$

Tabela 21 – Índices de concreto do subsistema estrutura para os dois processos construtivos.

Processo Construtivo	Subsistema	Ic Laje	Ic Viga	Ic pilar	Índice total do subsistema
Concreto Armado	Estrutura	0,0735	0,0432	0,0430	0,1597
Alvenaria Estrutural	Estrutura	0,0735	0,0170	0,0000	0,0905

Ic: índice de concreto

$$\text{CA} \quad \text{Ic lajes} + \text{Ic vigas} + \text{Ic pilares} = 0,0735 + 0,0432 + 0,0430 = 0,1597$$

$$\text{AE} \quad \text{Ic lajes} + \text{Ic vigas} + \text{Ic pilares} = 0,0735 + 0,0170 + 0,0000 = 0,0905$$

Tabela 22 – Índices de aço do subsistema estrutura para os dois processos construtivos.

Processo Construtivo	Subsistema	Ia Laje	Ia Viga	Ia pilar	Índice total do subsistema
Concreto Armado	Estrutura	0,0735	0,0432	0,0430	0,1597
Alvenaria Estrutural	Estrutura	0,0735	0,0170	0,0000	0,0905

Ia: índice de aço

$$CA \quad \text{Ia lajes} + \text{Ia vigas} + \text{Ia pilares} = 3,6403 + 5,5874 + 4,6278 = 13,8555$$

$$AE \quad \text{Ia lajes} + \text{Ia vigas} + \text{Ia pilares} = 3,6403 + 1,6200 + 0,0000 = 5,2603$$

Para os demais os demais subsistemas os índices são únicos não sendo necessária a composição por etapa da obra

Tabela 23 – Índices encontrados para os dois modelos construtivos integrantes deste estudo.

Sistema Construtivo	Estrutura			Vedação			Revestimento	
	Fôrmas	Aço	Concreto	Paredes	Aço	Graute	Interno	Externo
	If	Ia	Ic	Ip	Ia	Ig	Iri	Ire
CA	1,9752	13,8555	0,1597	1,3730	0,0000	0,0000	5,4694	0,4232
AE	1,0010	5,2603	0,0905	1,4931	1,8218	0,0126	2,4612	0,4231

Considerando:

CA - Processo Construtivo em Concreto Armado

AE - Processo Construtivo em Alvenaria Estrutural

Na tabela 24, os custos unitários de cada subsistema e o custo unitário total para o Processo Construtivo em Concreto Armado:

Tabela 24 – Cálculo do Custo Unitário para Concreto Armado.

Unidade	Unidade	Índice	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$/m ²
CONCRETO				
Lajes	m ³ /m ²	0,0735	463,93	34,10
Vigas	m ³ /m ²	0,0432	463,93	20,04
Pilares	m ³ /m ²	0,0430	463,93	19,95
Subtotal				74,09
AÇO				
Lajes	kg/m ²	3,6403	3,72	13,54
Vigas	kg/m ²	5,5874	3,02	16,87
Pilares	kg/m ²	4,6278	3,02	13,97
Subtotal				44,38
FORMA				
Lajes	m ² /m ²	0,8411	40,64	34,18
Vigas	m ² /m ²	0,7752	40,64	31,50
Pilares	m ² /m ²	0,3589	40,64	14,58
Subtotal				80,26
TOTAL ESTRUTURA				198,73
VEDAÇÃO				
Alvenaria	m ² /m ²	1,373	41,44	56,90
Aço	kg/m ²	0,00	3,02	-
Graute	m ³ /m ²	0,00	263,03	-
TOTAL VEDAÇÃO				56,90
REVESTIMENTO				
Interno	m ² /m ²	5,4694	14,46	79,09
Externo	m ² /m ²	0,4232	17,37	7,35
TOTAL REVESTIMENTO				86,44
CUSTO UNITÁRIO TOTAL				342,07
CUSTO UNITÁRIO TOTAL COM REFERÊNCIA AO CUB				0,2919

Observa-se a partir do cálculo do custo unitário de cada subsistema que no processo construtivo em concreto armado o subsistema estrutura representa 58% do custo unitário total, o subsistema vedação 17% e o subsistema revestimento 25%.

Na Tabela 25, são apresentados os custos unitários de cada subsistema e o custo unitário total para o Modelo Construtivo em Alvenaria Estrutural:

Tabela 25 - Cálculo do Custo Unitário para Alvenaria Estrutural.

(continua)

Unidade	Unidade	Índice	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$/m ²
CONCRETO				
Lajes	m ³ /m ²	0,0735	463,93	34,10
Vigas	m ³ /m ²	0,0170	463,93	7,88
Pilares	m ³ /m ²	0,0000	463,93	-
Subtotal				41,98
AÇO				
Lajes	kg/m ²	3,6403	3,72	13,54
Vigas	kg/m ²	1,62	3,02	4,89
Pilares	kg/m ²	0,0000	3,02	-
Subtotal				18,43
FÔRMA				
Lajes	m ² /m ²	0,8411	40,64	34,18
Vigas	m ² /m ²	0,1599	40,64	6,49
Pilares	m ² /m ²	0,0000	40,64	-
Subtotal				40,67
TOTAL ESTRUTURA				101,08
VEDAÇÃO				
Alvenaria	m ² /m ²	1,4931	65,852	98,323
Aço	kg/m ²	1,8218	3,02	5,50
Graute	m ³ /m ²	0,0126	263,03	3,31
TOTAL VEDAÇÃO				107,136

Conclusão

REVESTIMENTO				
Interno	m ² /m ²	2,4612	14,46	35,60
Externo	m ² /m ²	0,4231	17,37	7,35
TOTAL REVESTIMENTO				42,95
CUSTO UNITÁRIO TOTAL				251,16
CUSTO UNITÁRIO TOTAL COM REFERÊNCIA AO CUB				0,2143

A figura 14 representa o comparativo dos subsistemas estrutura, vedação e revestimentos dos dois processos construtivos:

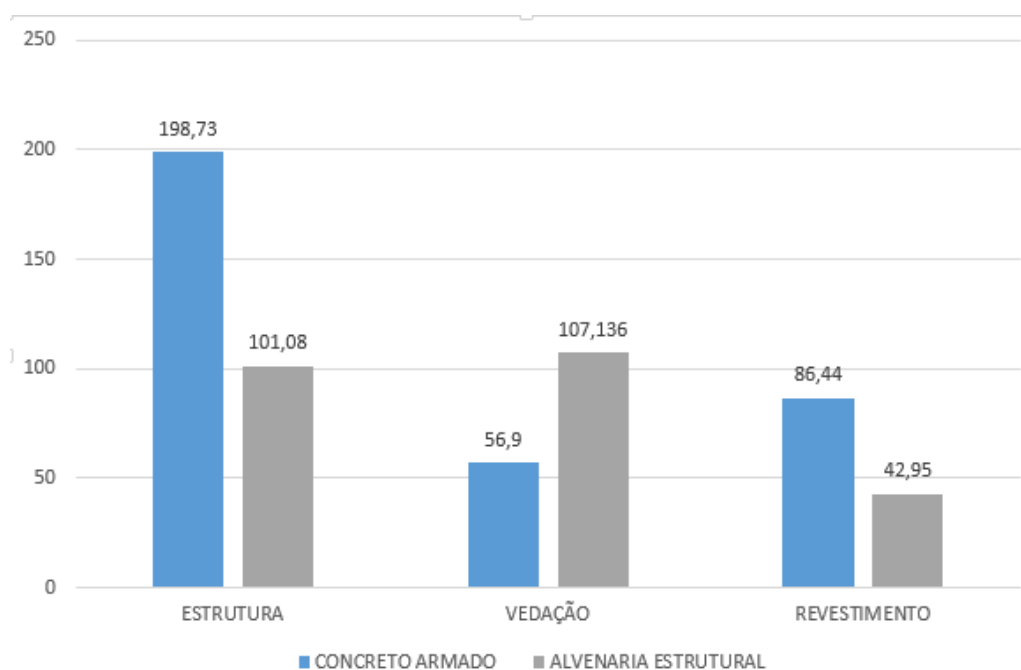


Figura 14 - comparativo dos subsistemas estrutura, vedação e revestimentos dos dois processos construtivos.

A figura 15 representa o comparativo do subsistema estrutura dos dois processos construtivos:

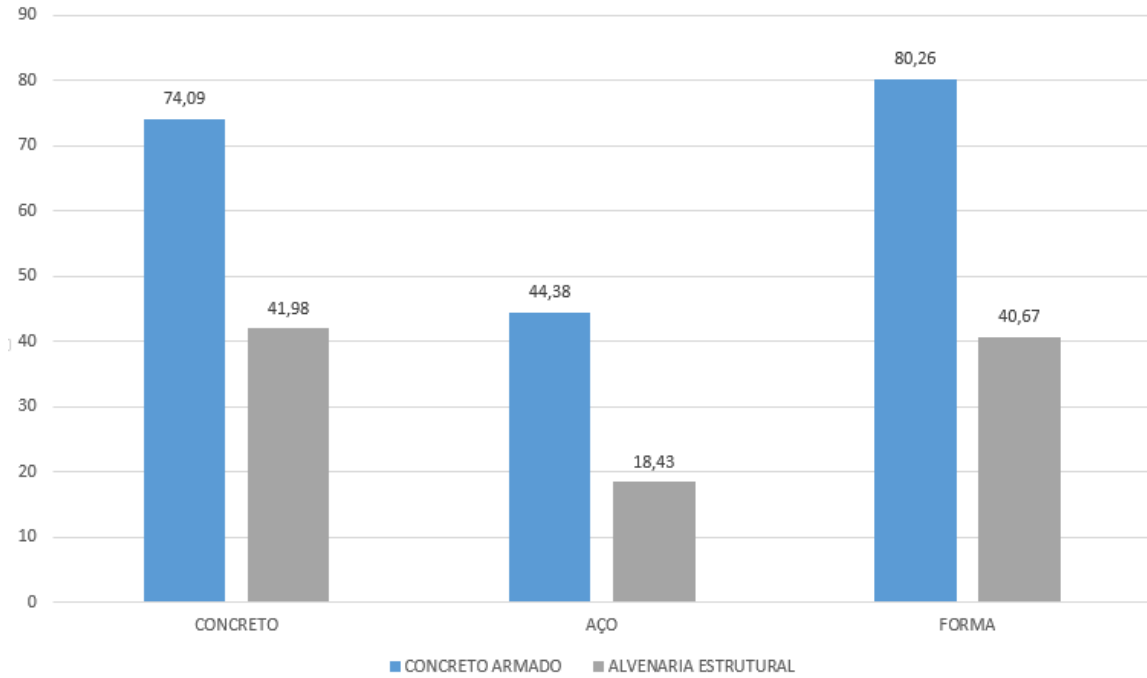


Figura 15 - comparativo do subsistema estrutura dos dois processos construtivos.

A figura 16 representa o comparativo do subsistema revestimento dos dois processos construtivos:

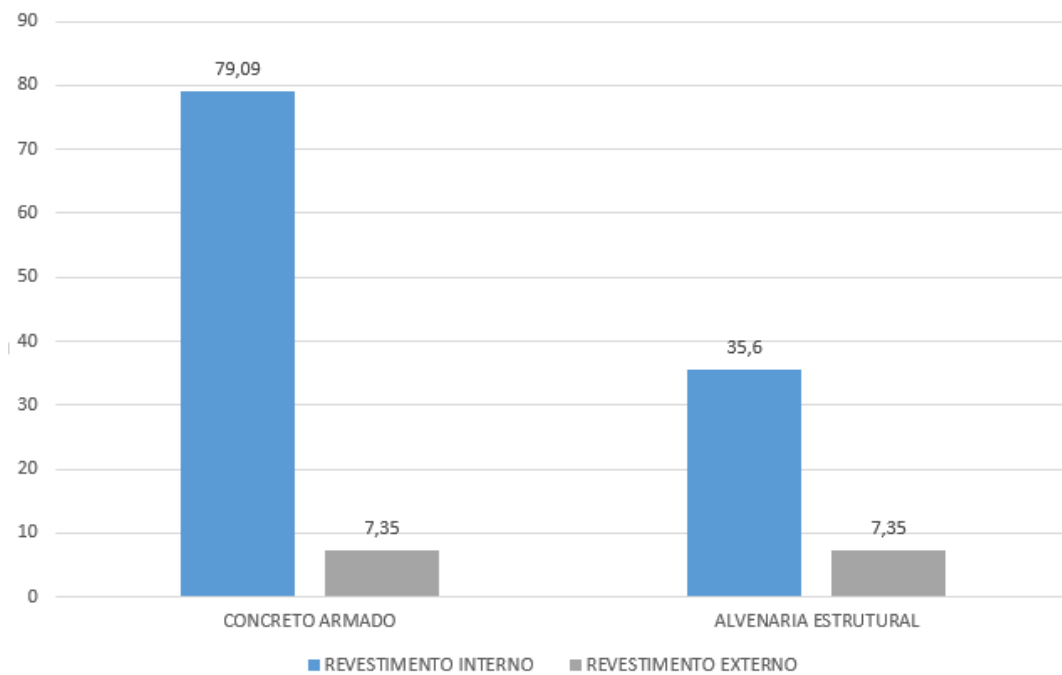


Figura 16 - comparativo do subsistemas revestimentos dos dois processos construtivos.

Observa-se a partir do cálculo do custo unitário de cada subsistema que no processo construtivo em concreto armado o subsistema estrutura representa 40,4% do custo unitário total, o subsistema vedação 42,6% e o subsistema revestimento 17%.

Analisando-se os dois processos construtivos, observa-se que no processo construtivo em concreto armado o subsistema mais representativo é o da estrutura (58%), enquanto no processo construtivo em alvenaria estrutural dois subsistemas representam mais de 80% do total, vedação (42,6%) e estrutura (40,4%). Observa-se também que o subsistema revestimento no processo construtivo em concreto armado é consideravelmente mais representativo que no processo em alvenaria estrutural.

4.3 Considerações

Adotou-se um prédio residencial que está em fase de conclusão em Santana do Livramento como piloto para um estudo de caso comparativo utilizando dois métodos construtivos como parâmetro (Concreto Armado- modelo adotado originalmente na construção do prédio em estudo e Alvenaria Estrutural como a outra opção).

Analisando o processo construtivo convencional em Concreto Armado, processo este quase que único utilizado nesta região, constatou-se que se necessita de um processo construtivo que nos permita maior rapidez de execução como também diminuição dos custos executivos.

Na composição de custos foram analisados apenas itens do processo executivo dos dois processos adotados que apresentem diferenças consideráveis, visto que vários subsistemas construtivos são comuns aos dois modelos e, por isso, foram motivo de estudo apenas Estrutura, Alvenaria de Vedação e Revestimentos.

Vários fatores que, com certeza, fariam uma diferença maior na composição dos custos não foram levados em conta, que nos é peculiar a um dos modelos, como, por exemplo, nos revestimentos de um prédio em Concreto Armado a quantidade de recortes necessários devido à seção dos pilares que normalmente são salientes as vedações e demandam de uma quantidade maior de mão de obra na sua execução, assim também pelo alto índice de desperdício de material em uma obra convencional.

Como a edificação do estudo de caso é um prédio de seis pavimentos sobre pilotis e dois subsolos de garagem adotaram-se apenas os pavimentos tipos para análise comparativa de custo por considerar que os outros pavimentos são comuns aos dois processos.

O processo construtivo em Alvenaria Estrutural apresenta um menor número de insumos do que em Concreto Armado, como podemos observar no descrito no item 4, assim sendo podemos afirmar que para edificações de tipologia semelhante ao processo construtivo em Alvenaria Estrutural apresentará uma economia de materiais e também de perdas oriundas do processo, como por exemplo, rasgos na alvenaria para tubulações quando comparado ao modelo em Concreto Armado.

CONCLUSÃO

Com base nos dados que embasaram os custos construtivos das duas Tipologias adotadas para este estudo de caso, conclui-se que a edificação motivo deste estudo em concreto armado, com seis pavimentos sobre pilotis e dois subsolos quando executada em alvenaria estrutural, é 36,2% mais econômica nos subsistemas comparados (estrutura, vedação e revestimentos). Considerando que os três subsistemas analisados representam, segundo informações dos construtores, aproximadamente 35% do valor total da obra.

Tem-se uma economia total de aproximadamente 10,00% quando executada em Alvenaria Estrutural com bloco cerâmico em comparação ao processo em Concreto Armado, modelo que foi adotado em sua concepção.

O presente trabalho teve como propósito suscitar na região de Santana do Livramento uma discussão mais aprofundada quanto aos tipos de processos construtivos a serem adotados em nossas obras e servir como ferramenta auxiliar aos empresários locais e projetistas com a finalidade de, efetivamente, proporcionar a inclusão deste sistema construtivo na região.

Demonstra-se, portanto, a partir desta dissertação que, além de ter-se um processo construtivo alternativo (Alvenaria Estrutural), o mesmo apresenta-se como um processo construtivo mais vantajoso economicamente.

REFERÊNCIAS

ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1998.

ALMEIDA, C.A. **Construções em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos: um breve panorama do empreendimento: aspectos do mercado, importância do planejamento e ações para prevenir falhas frequentes**. In: Alvenaria estrutural: novas tendências técnicas e de mercado. [S. l.]: Interciência, 1990.

AMARAL, T. G. **Gestão da produção para a alvenaria estrutural**. In SÁNCHEZ, E. (Org.). Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto e execução de obras em concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC, Brasília/DF 2012

_____. **NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 14974-1**: Bloco sílico-calcário para alvenaria – Requisitos, dimensões e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 14974-2**: Bloco sílico-calcário para alvenaria – Procedimento para execução de alvenaria. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto - Projeto. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e na compressão. Rio de Janeiro, 2005.

FUSCO, P.B.; CAMACHO, J.S. **Influência do graute na resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos em diferentes escalas**. Florianópolis, 1994.

GAMA, R. **Tecnologia e o trabalho na história**. São Paulo: Nobel-EPUSP, 1987.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa industrial**: inovação tecnológica, 2001. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: nov. de 2013.

MASCARÓ, J. **O custo das decisões arquitetônicas**: como explorar boas ideias com orçamento limitado. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1998.

MOHAMAD, G. (Coord.). **Construções em alvenaria estrutural**: materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2014.

MOHAMAD, G., RIZZATTI, E. **Introdução à alvenaria estrutural**. In SÁNCHEZ, E. (Org.). Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

_____. **Propriedades e componentes da alvenaria estrutural**. In SÁNCHEZ, E. (Org.). Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; MACHADO, D. N.; SAMARA, U. N. **Projeto em alvenaria estrutural** – definições e características. In MOHAMAD, G. (Coord.). Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2014.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; PIZZUTTI, J. S.; KOTHE, K. **Introdução à alvenaria estrutural**. In MOHAMAD, G. (Coord.). Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2014.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; ROMAN, H. R. **Juntas de movimentação na alvenaria estrutural**. In MOHAMAD, G. (Coord.). Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2014.

_____. **Propriedades da alvenaria estrutural e de seus componentes**. In MOHAMAD, G. (Coord.). Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2014.

PARSEKIAN, G.A. **Curso de atualização**: Cálculo de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos. Campinas, 2010.

PRUDÊNCIO JR.; OLIVEIRA, A.L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria Estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2002.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RAUBER, F. C. **Contribuições ao Projeto Arquitetônico de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. 111p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

RIZZATTI, E.; MOHAMAD; G., RAUBER, F. C. **O projeto de alvenaria estrutural**. In SÁNCHEZ, E. (Org.). Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

ROMAN, H.R.; MOHAMAD, G. **Análise de alvenaria estrutural**. Universidade Corporativa CAIXA.

ROMAN, H.R.; MUTTI, C.N.; ARAÚJO, H.N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: EdUFSC, 1999.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 321p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989.

SÁNCHEZ, E. (Org.). **Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

SANTOS, M.D.F. Caderno didático para curso básico: alvenaria com blocos de concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland. Porto Alegre, 2002.

SILVA, G. **Sistemas Construtivos em concreto armado e alvenaria estrutural: uma análise comparativa de custos**. 2003. 164 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL no Estado de Minas Gerais. **Saiba mais: Custo Unitário Básico (CUB/m²)**. Belo Horizonte, 2013.

TAMBARA, F. S. **Levantamento e listagem de procedimentos e influências da alvenaria estrutural**. 2006. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

TCPO. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 13. ed. São Paulo: PINI, 2010.

WENDLER, A. **Curso sobre projeto de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto**. São Paulo: 1999. Apostila 92p.

WENDLER, A. A. **Relatório sobre alvenaria estrutural – considerações econômicas**. Disponível em: <http://www.wendlerprojetos.com.br/frame.htm>. Acesso em: jun. 2014.

ANEXOS