

**COMPARATIVO ECONÔMICO DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS PARA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR:
ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS EM
CONCRETO E ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO**

**ECONOMIC COMPARATIVE OF CONSTRUCTIVE SYSTEMS FOR
LOW STANDARD RESIDENTIAL BUILDING: STRUCTURAL MASONRY WITH
BLOCKS IN CONCRETE AND STRUCTURE IN ARMED CONCRETE**

Givanildo Quadros¹

Ana Cláudia de Azevedo²

Submetido em 08-06-2018

Aprovado em 21-08-2018

Revista Infinity

Revista dos Cursos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Engenharia de Produção.

Uceff – Campus Itapiranga

Vol. 3, nº 1, 2018

ISSN 2525-3204

¹ Mestre em Políticas Sociais e Dinâmicas Regionais pela Unochapecó. Docente dos Cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da Uceff Itapiranga. Email: givanildo@uceff.edu.br

² Graduada em Engenharia Civil pela Uceff Itapiranga. Email: anaclaudiaengenheira@gmail.com

Resumo: Com o cenário atual de retração da construção civil constantemente procura-se meios para a redução de custos de obras em geral, destacando-se principalmente as inovações tecnológicas. Com base nesta situação, o trabalho abordou o projeto e dimensionamento de uma edificação residencial multifamiliar, com quatro unidades, padrão baixo em dois sistemas construtivos: alvenaria estrutural com blocos de concreto e estrutura em concreto armado, comparando e avaliando a viabilidade financeira dos mesmos. Ambos foram realizados de acordo com as NBRs, sendo estas NBR 15961/1 (ABNT, 2011) Alvenaria estrutural - Blocos de concreto. Parte 1: Projeto e a NBR 6118 (ABNT, 2014) Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. O projeto arquitetônico foi desenvolvido para atender os dois sistemas construtivos, já o dimensionamento ocorreu de forma distinta, onde os cálculos da alvenaria estrutural foram realizados manualmente e os cálculos da estrutura em concreto armado no software Eberick V9. Destes realizou-se os orçamentos para demonstração da viabilidade econômica do sistema construtivo em alvenaria estrutural.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Blocos de Concreto. Concreto Armado. Orçamento.

Abstract: With the current scenario of retraction of the civil construction is constantly looking for ways to reduce costs of works in general, mainly highlighting the technological innovations. Based on this situation, the work approached the design and design of a multifamily residential building with four units, low standard in two construction systems: structural masonry with concrete blocks and reinforced concrete structure, comparing and evaluating their financial viability. Both were performed according to NBRs, these being NBR 15961/1 (ABNT, 2011) Structural Masonry - Concrete Blocks. Part 1: Design and NBR 6118 (ABNT, 2014) Design of concrete structures - Procedure. The architectural design was developed to meet the two construction systems, and the dimensioning occurred in a different way, where the structural masonry calculations were performed manually and the calculations of the structure in reinforced concrete in Eberick V9 software. These were the budgets for demonstrating the economic viability of the construction system in structural masonry.

Keywords: Structural masonry. Concrete blocks. Armed Concrete. Budget.

Introdução

A utilização da alvenaria possui registros desde o início da civilização, onde surgiu em decorrência da necessidade da construção de moradias. Inicialmente eram executadas por meio do empilhamento puro e simples das unidades de tijolos ou blocos, fundamentados em métodos empíricos. Ao longo do tempo desenvolveu-se unidades de diversos materiais com maior resistência além de princípios científicos para a realização dos projetos (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Definida como um sistema único, a alvenaria estrutural possui funções estruturais e de vedação, onde segundo Tauil e Nese (2010) proporciona uma solução construtiva com características relevantes, sendo as principais a durabilidade, racionalidade, desperdícios minimizados, economia e utilização dos princípios de sustentabilidade tão evidenciados na atualidade.

Rabelo (2004) estima que a estrutura em alvenaria estrutural quando comparada com o sistema convencional em concreto armado gera uma economia significativa, demonstrado na tabela 1. Para tanto, é necessário que o projeto seja desde o início idealizado para ser executado em alvenaria estrutural, promovendo uma boa modulação.

Tabela 1: Comparativo Alvenaria Estrutural x Estrutura Convencional

Nº de Pavimentos	Economia (%)
Até 3 pavimentos	25 a 30
4 a 7	20 a 25
8 a 11	15 a 20
12 a 15	10 a 15
18	5 a 10

Fonte: Adaptado de Rabelo (2004)

O déficit habitacional no Brasil em 2014, segundo a Fundação João Pinheiro em parceria com o Ministério das cidades, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) baseado na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)-IBGE, v.34, (2014), era em torno de 6.068.061 moradias nas áreas urbanas, onde segundo a mesma fonte cerca de 83,9% deste

déficit é decorrente da falta de moradia digna da população mais carente, que tem renda familiar de até 3 salários mínimos (CBIC, 2016).

Em decorrência disso o governo federal oferece programas habitacionais como o programa minha casa minha vida, que além de proporcionar uma melhor qualidade de vida, gera empregos e movimenta o ramo da construção civil.

Desta forma a alvenaria estrutural apresenta-se como uma alternativa de diminuição de custos para habitações de baixa renda, garantindo o desempenho mínimo desejado neste segmento. Neste sentido o presente trabalho abordara a viabilidade econômica do sistema construtivo em questão.

Para a execução deste trabalho foi realizada uma pesquisa quantitativa, pois adequou-se melhor ao assunto em virtude de trabalhar no campo empírico, dando a possibilidade de mensuração dos dados. O objeto de estudo foi uma edificação com dois pavimentos, com quatro apartamentos de padrão baixo. Sendo desenvolvido da seguinte maneira:

Para a realização do projeto arquitetônico da edificação, foi utilizado o software AutoCAD®. O projeto foi desenvolvido com os princípios de coordenação modular, possibilitando a utilização do mesmo projeto para o sistema construtivo em alvenaria estrutural como também para o de concreto armado. A elaboração do projeto arquitetônico respeitou as condições estabelecidas pela NBR 13532 (ABNT, 1995) Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura.

Os cálculos da superestrutura dos dois sistemas foram realizados de formas distintas. Para o sistema de concreto armado utilizou-se o software Eberick V9, que baseia-se na NBR 6118 (ABNT, 2014) Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Já para o sistema construtivo em alvenaria estrutural os cálculos foram realizados manualmente com o auxílio de planilhas, aplicando as recomendações e prescrições da NBR 15961/1 (ABNT, 2011) Alvenaria estrutural – Blocos de concreto: Projeto.

Por fim foi realizado um orçamento sintético para ambos os sistemas, por meio do levantamento quantitativo da superestrutura e utilização de planilha de custo de composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI em referência ao mês de setembro de 2017. Ambos foram desenvolvidos em

planilha eletrônica, servindo como suporte para a determinação da viabilidade econômica entre os sistemas.

Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é formada principalmente por quatro componentes sendo estes os blocos, argamassa, graute e armadura (MANZIONE, 2004). Entende-se por componente uma entidade básica, que compõe um elemento e conseqüentemente compõe a estrutura. Este elemento é uma parte elaborada da estrutura constituído por dois ou mais componentes (paredes, pilar, verga, entre outros) (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) o conceito de utilização da alvenaria estrutural se caracteriza por transmissão de ações por meio de tensões de compressão, contudo deve se admitir a existência de tensões de tração em peças determinadas. Desta forma quando existir tensões de tração a mesma deve se limitar a pontos específicos da estrutura, caso contrário a estrutura pode se tornar tecnicamente inviável.

Alguns princípios são a base para a alvenaria estrutural, sendo deste os principais compensar a baixa resistência a tração do bloco explorando a resistência a compressão do mesmo, como também os projetistas possuem conhecimento de forma geral de todo o projeto potencializando as vantagens do sistema com qualidade e economia. De acordo com os que defendem o sistema construtivo em alvenaria estrutural, Roman e Parizotto Filho [S.d] e Oliveira Junior (1992), a mesma apresenta diversas vantagens quando comparado com os sistemas construtivos tradicionais, sendo estes:

- a) Procedimentos de execução simplificados (facilita a gestão de pessoas e o controle de execução, reduz de forma significativa as etapas, variedades de materiais e mão de obra);
- b) Compatibilização de projetos (integração de todos os subsistemas);
- c) Dispensa o uso de formas e armação (quando as lajes forem pré-moldadas);
- d) Flexibilidade nas fases de planejamento e execução (possibilita diversos níveis de mecanização).

Porém Manzione (2004) destaca que o sistema construtivo apresenta algumas limitações, sendo estas as principais:

- a) Na medida em que se tem o aumento do número de pavimentos do edifício, o índice de esbeltez³ aumenta, tornando-se em alguns casos antieconômico;
- b) Quando se utiliza vãos grandes tem-se cargas elevadas nas paredes, tendo desta forma a necessidade de blocos com resistência alta;
- c) Balanços demandam grande quantidade de armadura;
- d) Restrição na remoção de paredes, quando a mesma não for prevista no projeto;
- e) A aplicabilidade do sistema é viável em edificações que possuem altura de até quinze pavimentos, quando este limite for ultrapassado recomenda-se realizar comparativo econômico com a estrutura de concreto armado.

Para alcançar os objetivos do sistema é necessário que os estudos tenham início desde a fase de projeto, onde o mesmo possua inter-relação dos projetos de arquitetura, instalações e estrutura, utilizar o sistema de modulação em ambos os sentidos (horizontal e vertical) e detalhar de forma cautelosa o projeto (OLIVEIRA JUNIOR, 1992).

Do mesmo modo Roman e Parizotto Filho [S.d] destacam que devem ser implantados ainda na concepção do projeto os conceitos de racionalização e controle de qualidade. Desta forma fazem parte do projeto racionalizado a qualificação da mão de obra, o controle de insumos além da compatibilização entre todas as interfaces que compõe o projeto. Gerando assim a obtenção de bons índices de custo e qualidade.

Dimensionamento, especificações e orçamentação

O projeto foi desenvolvido para atender as necessidades de projeto dos dois sistemas construtivos, alvenaria estrutural e concreto armado, deste modo tratando-se de residências de padrão baixo utilizou-se o conceito de dimensão mínima, com o intuito de possibilitar o mínimo de conforto e segurança no desenvolvimento de atividades domésticas em geral. Como exemplo deste tem-se o quarto de casal, que além de obter os móveis tradicionais (cama, roupeiro, criado-mudo) previu-se espaço para receber um berço (PALERMO, 2009).

Para a elaboração do projeto também utilizou-se o conceito de dimensões modulares, assim foi optado pela utilização de blocos de concreto da família 14x29 cm,

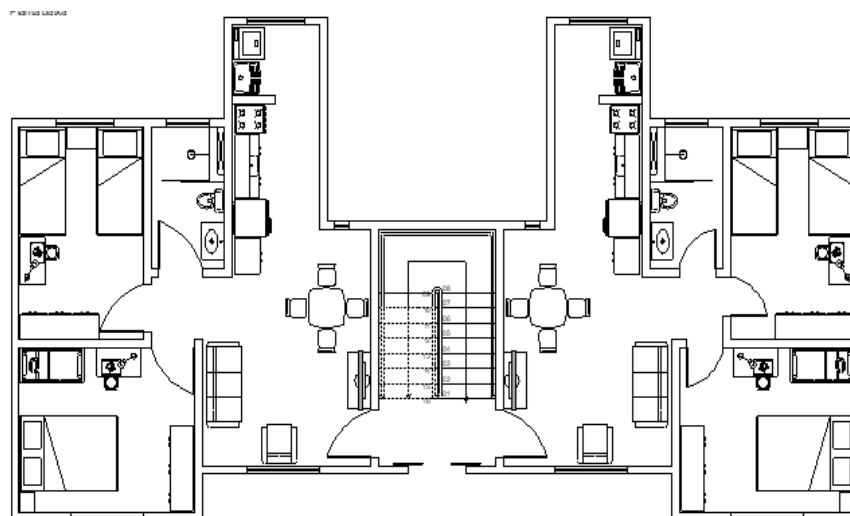
³ Parâmetro utilizado para verificar a necessidade de integrar nos cálculos os efeitos de segunda ordem, sendo utilizado em casos de seção constante (OLIVEIRA, 2004 apud. ZWIRTES, 2016).

sendo desta forma as dimensões horizontais múltiplas de 15 e as verticais múltiplas de 20. A modulação vertical teve como base a distância modular de piso a piso.

O arranjo estrutural utilizado foi o sistema de paredes celulares, onde considera todas as paredes estruturais e utiliza lajes maciças armadas em duas direções (ACCETTI, 1998). Para ambos os projetos o cálculo das lajes e da escada foram realizados por meio do software Eberick V9.

Em relação a distribuição das ações verticais no sistema construtivo em alvenaria estrutural utilizou-se o sistema de paredes isoladas. Sendo cada parede independente, não possuindo interação com outros elementos da estrutura (RAMALHO; CORRÊA, 2003). O projeto arquitetônico utilizado para ambos os sistemas pode ser visualizado na figura 1, sendo a edificação composta por dois pavimentos de 123,89 m² cada e o reservatório e cobertura com 10,80 m² cada.

Figura 1: Projeto Arquitetônico Térreo



Fonte: O autor

Cálculo das ações

Após a concepção do projeto iniciou-se a mensuração das ações que atuam sobre a estrutura, sendo estas divididas em verticais e horizontais.

Ações verticais

As cargas verticais correspondem ao peso próprio das paredes estruturais e não estruturais, peso próprio da laje e as cargas acidentais determinadas pela NBR 6120 (ABNT, 1980).

Sendo uma edificação com finalidade exclusivamente residencial considerou-se uma espessura de laje de 10 centímetros para todos os pavimentos. Entretanto para a laje de cobertura do reservatório determinou-se uma espessura de 8 centímetros, em virtude desta ser menos solicitada.

Adotou-se todas as paredes estruturais, exceto as paredes do *shaft* do banheiro e a parede de divisão entre a área de serviço e cozinha.

Lajes

Para mensurar as ações das lajes utilizou-se a divisão das áreas por meio de triângulos e trapézios em consonância com a NBR 6118 (ABNT, 2014). Posteriormente foi realizado o cálculo do peso próprio, que consiste na multiplicação do peso específico do concreto pela área e espessura correspondente dividido pelo comprimento da parede que a laje está apoiada, tendo assim o carregamento por unidade de comprimento. Para o cálculo das cargas acidentais soma-se as cargas correspondentes (revestimento mais a sobrecarga de utilização) e multiplica-se pela área, dividindo pelo comprimento para obter a carga em unidade de comprimento.

Para obter as solicitações da escada utilizou-se os cálculos do peso próprio e carga acidental das lajes, tabela 2.

Tabela 2: Peso Próprio e Carga Acidental Laje Escada

C (m)	L (m)	e (m)	Peso Específico (kN/m ³)	Peso da Laje (kN/m)	C.A. (kN/m)	Carga Total (kN/m)
1,0	1,0	0,1	25	2,50	3,50	6

C = comprimento

L = largura

e = espessura

C.A. = Carga acidental

Fonte: O autor

Da mesma forma calculou-se o peso próprio dos degraus, tabela 3.

Tabela 3: Peso Próprio dos Degraus da Escada

C (m)	L (m)	e (m)	Peso Específico (kN/m³)	Peso dos degraus (kN/m)
1	0,29	0,175	24	1,97

C = comprimento

L = largura

e = espessura

Fonte: O autor

Em seguida foi lançado os pesos específicos da escada no programa de análise estrutural bidimensional Ftool, para obter as reações correspondentes.

Posteriormente foi determinado a sobrecarga do reservatório em sua respectiva laje. O volume total do reservatório utilizado foi de 8000 litros, no entanto é composto por duas caixas d' água com 5000 e 3000 litros. Desta forma dividiu-se a quantidade total (kN) pela área (tabela 4).

Tabela 4: Carga Acidental dos Reservatórios

Quantidade (L)	Quantidade (kN)	Área (m²)	Carga Acidental (kN/m²)
8000	80	10,80	7,41

Fonte: O autor

Logo após multiplicou-se a carga acidental pela área de laje correspondente a cada parede e dividiu-se pelo comprimento das mesmas, para assim poder obter o peso próprio por unidade de comprimento (tabela 5).

Tabela 5: Peso Próprio do Reservatório em cada Parede

Parede	Área	Comprimento (m)	C.A. (kN/m²)	Peso Reservatório (kN/m)
---------------	-------------	------------------------	--------------------------------	---------------------------------

Par.5 (b) = Par.10 (b)	A01	2,55	7,41	4,18
Par.18(a) = Par.19(a)	A02	4,65	7,41	6,31
C.A. = Carga accidental				

Fonte: O autor

Peso próprio das paredes

Após o cálculos das ações correspondentes as lajes calculou-se o peso próprio das paredes, por meio da multiplicação do peso específico da parede pela altura e espessura da mesma (REBOREDO, 2013).

Considerando que o projeto possui poucos pontos com grauteamento o peso específico utilizado para a alvenaria estrutural foi o mesmo que Possa (2011), em decorrência da NBR 6120 (ABNT, 1980) não possuir valores para estas situações. Assim adotou-se um peso específico de 17 kN/m³.

O peso específico das paredes não estruturais foi considerado de 13 kN/m³, em consonância com a NBR 6120 (ABNT, 1980).

Já os cálculos dos revestimentos prosseguiram da mesma forma que os cálculos das paredes, no entanto o peso específico utilizado foi de 19 kN/m³ de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 1980).

Desta forma foi calculado o peso próprio de acordo com as características de cada parede e somado o peso correspondente ao revestimento, tabela 6.

Tabela 6: Peso Próprio Paredes Estruturais

Paredes Estruturais	Espessura da parede (m)	Pé direito (m)	Peso Específico (kN/m³)	Peso da Parede (kN/m)	Peso da Parede com Revestimento (kN/m)
Pavimentos	0,14	2,80	17	6,664	7,73
Platibanda	0,14	0,80	17	1,90	2,21
Reservatório	0,14	2,00	17	4,76	5,52
Cobertura do Reservatório	0,14	2,40	17	5,71	6,62

Fonte: O autor

Ações horizontais

As ações horizontais consideradas foram as do vento e desaprumo, onde foram somadas ao final para obter uma carga horizontal total.

Vento

Para mensurar as ações do vento utilizou-se as prescrições da NBR 6123 (ABNT, 1988) em consonância com a NBR 15961/1 (ABNT, 2011). Os cálculos foram desenvolvidos por níveis nas direções x e y, por meio da equação da força de arrasto, item 4.2.3 da NBR 6123 (ABNT, 1988).

Para achar o coeficiente de arrasto (C_a) em x considerou-se:

$$l_1 = 17,40 \quad l_2 = 9,60 \quad h = 10$$

$$\frac{l_1}{l_2} = 1,81 \quad \frac{h}{l_1} = 0,57$$

Para achar o coeficiente de arrasto (C_a) em y considerou-se:

$$l_1 = 9,60 \quad l_2 = 17,40 \quad h = 10$$

$$\frac{l_1}{l_2} = 0,55 \quad \frac{h}{l_1} = 1,04$$

Após a definição destas relações encontrou-se o C_a por meio do gráfico da figura 4 da NBR 6123 (ABNT, 1988). Sendo $C_a x = 1,17$ e o $C_a y = 0,89$.

A próxima etapa foi encontrar a velocidade característica do vento, obtida por meio da multiplicação da velocidade básica do vento pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 . Onde a velocidade básica do vento é encontrada por meio do gráfico das Isopletras, figura 1 da NBR 6123 (ABNT, 1988), de acordo com a localização no Brasil.

Desta forma a região extremo oeste de Santa Catarina, possui uma velocidade básica do vento de aproximadamente 47 m/s.

Correspondendo as condições do relevo do terreno, o fator S_1 foi considerado igual a 1, que atende a terrenos planos ou fracamente acidentados.

O fator S_2 considera a influência da rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno. Assim definiu-se em relação a rugosidade Categoria IV, que atende a terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada, com cota média do topo dos obstáculos de 10 metros. Em relação as dimensões verticais e horizontais, a edificação foi caracterizada como Classe A em

decorrência destas não excederem 20 metros. Quanto à altura sobre o terreno, a mesma possibilita juntamente com as outras determinações a definição dos parâmetros meteorológicos (p e b) NBR 6123 (ABNT, 1988).

Os parâmetros meteorológicos de acordo com a tabela 1 da NBR 6123 (ABNT, 1988), são $b = 0,86$ e $p = 0,12$. Em seguida utilizando a equação dada no item 5.3.3 da mesma norma, tem-se o Fator S_2 por nível.

O fator S_3 é determinado por meio de conceitos estatístico abordando o grau de segurança requerido além da vida útil da edificação. Este fator é obtido por meio da tabela 3 da NBR 6123 (ABNT, 1988), sendo a edificação caracterizada pelo grupo 2 que corresponde a: Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação. Assim $S_3 = 1,00$.

Substituindo os fatores e a velocidade básica, obteve-se a velocidade característica do vento por nível. Posteriormente aplicando estes resultados na equação do item 4.2 alínea c da NBR 6123 (ABNT, 1988) obteve-se a pressão dinâmica do vento. Os cálculos estão expostos na tabela 7.

Tabela 7: Velocidade Característica e Pressão Dinâmica do Vento

Nível	S1	S2	S3	V0 (m/s)	Vk (m/s)	q' (N/m ²)
Cobertura	1,00	0,86	1,00	47	40,42	1001,50
Reservatório						
Reservatório	1,00	0,83	1,00	47	39,01	932,85
Platibanda	1,00	0,81	1,00	47	38,07	888,44
Nível	S1	S2	S3	V0 (m/s)	Vk (m/s)	q' (N/m ²)
Pavimento 1	1,00	0,80	1,00	47	37,60	866,63
Térreo	1,00	0,79	1,00	47	37,13	845,10

Fonte: O autor

Tendo o coeficiente de arrasto e a pressão dinâmica do vento, falta obter área de projeção da fachada para calcular a força de arrasto. Essa área foi definida por nível em x e y , multiplicando a largura total da fachada pelo pé direito do pavimento correspondente.

Aplicando na equação da força de arrasto obteve-se o efeito oriundo do vento em x e y, tabela 8.

Tabela 8: Força de Arrasto em x e y

Nível	q' (N/m ²)	Ca (x)	Ca (y)	Ae (x) m ²	Ae (y) m ²	Fa (x) kN	Fa (y) kN
Cobertura Reservatório	1001,50	1,17	0,89	6,48	11,52	7,59	10,27
Reservatório	932,85	1,17	0,89	5,4	9,6	5,89	7,97
Platibanda	888,44	1,17	0,89	11,76	7,68	12,22	6,07
Pavimento 1	866,63	1,17	0,89	48,72	26,88	49,40	20,73
Térreo	845,10	1,17	0,89	48,72	26,88	48,17	20,22

Fonte: O autor

Para obter a força de arrasto em kN/m foi dividido o valor obtido pela largura da fachada de cada pavimento, tabela 9.

Tabela 9: Ação do vento em (kN/m)

Nível	Lx	Ly	Fa (x) kN	Fa (y) kN	Ação do vento em x (kN/m)	Ação do vento em y (kN/m)
Cobertura Reservatório	2,70	4,80	7,59	10,27	2,81	2,14
Reservatório	2,70	4,80	5,89	7,97	2,18	1,66
Platibanda	14,70	9,60	12,22	6,07	0,83	0,63
Pavimento 1	17,40	9,60	49,40	20,73	2,84	2,16
Térreo	17,40	9,60	48,17	20,22	2,77	2,11

Fonte: O autor

Desaprumo

Da mesma forma que o vento, o desaprumo foi calculado por níveis, para no final tornar-se uma força horizontal única. Calculou-se primeiro o ângulo de desaprumo, por meio da equação exposta no item 8.3.2.2 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011), onde H corresponde ao pé direito de cada pavimento. Posteriormente foi realizado o cálculo do desaprumo propriamente dito, através da multiplicação do ângulo de desaprumo (θ_a) pela carga vertical total por pavimento (ΔP). Ambos os cálculos podem ser visualizados na tabela 10.

Tabela 10: Ações Horizontais (Desaprumo)

Nível	H (m)	Ângulo em radianos	Ângulo em radianos (mínimo)	Carga Vertical Total (kN/m)	Força Horizontal Fd2 (kN/m)
Cobertura	10,00	0,003162	0,002500	36,41	0,12
Reservatório					
Reservatório	7,60	0,003627	0,003289	55,81	0,20
Platibanda	6,40	0,003953	0,003906	50,12	0,20
Pavimento 1	5,60	0,004226	0,004464	555,84	2,48
Térreo	2,80	0,005976	0,008929	676,67	6,04

Fonte: O autor

Esforços solicitantes globais

Após mensurar as ações do vento e desaprumo, somou-se as mesmas para resultar em uma ação horizontal total, tabela 11.

Tabela 11: Ação Horizontal Total

Nível	Fx (kN/m)	Fy (kN/m)
Cobertura Reservatório	2,93	2,25
Reservatório	2,39	1,86
Platibanda	1,03	0,83
Pavimento 1	5,32	4,64
Térreo	8,81	8,15

Fonte: O autor

Em seguida calculou-se as duas grandezas restantes da determinação dos esforços globais, ou seja, a força cortante e o momento, onde o cortante corresponde a força horizontal do pavimento acrescido do cortante do pavimento superior e o momento é a multiplicação do cortante pelo pé direito do pavimento somado ao momento do pavimento superior.

As grandezas em x, estão dispostas na tabela 12.

Tabela 12: Esforços Solicitantes Globais em x

Nível	Direção x		
	Força (kN/m)	Cortante (kN)	Momento (kN.m)
Cobertura Reservatório	2,93	2,93	8,20
Reservatório	2,39	5,31	23,07
Platibanda	1,03	6,34	40,83
Pavimento 1	5,32	11,66	73,49
Térreo	8,81	20,47	130,81

Fonte: O autor

As grandezas em y, estão dispostas na tabela 13.

Tabela 13: Esforços Solicitantes Globais em y

Nível	Direção y		
	Força (kN/m)	Cortante (kN)	Momento (kN.m)
Cobertura Reservatório	2,25	2,25	6,31
Reservatório	1,86	4,12	17,84
Platibanda	0,83	4,95	31,69
Pavimento 1	4,64	9,59	58,54
Térreo	8,15	17,74	108,21

Fonte: O autor

Combinações de ações

Após a determinação de todas as ações atuantes na estrutura foi considerado todos os estados-limite último, ou seja, foi realizado combinações de ações de forma a apresentar o efeito mais desfavorável para a estrutura. Assim utilizou-se a equação do item 8.9 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011), onde os coeficientes de ponderação e redução foram obtidos por meio das tabelas 6 e 7 da mesma norma e compilados em uma única tabela (tabela 14).

Tabela 14: Coeficientes para Cálculo de FD (Combinação Última)

	Ações	Ψ_0
Coeficiente para redução de variáveis	Edifícios residenciais	0,5
	Vento	0,6
Coeficiente de ponderação para combinação de ações	Permanentes	1,4
	Variáveis	1,4

Fonte: Compilado pelo autor

Deste modo quando foi considerado a carga accidental como principal minorou-se a ação do vento e quando foi considerado a carga do vento como principal minorou-se a carga accidental.

Dimensionamento e verificação

Estando definido que o projeto seria de alvenaria estrutural não armada foi realizado a escolha do bloco de forma que atende-se a todas as verificações, assim a resistência do bloco é $F_{bk} = 6 \text{ MPa}$.

Sendo a escolha do bloco definida pela maior solicitação, os cálculos foram desenvolvidos por meio da parede com maior tensão, sendo está proveniente da parede Par.10(b).

A resistência de cálculo é dada por meio da divisão da resistência característica (F_k) pelo coeficiente de ponderação (γ_m), sendo γ_m determinado pela tabela 2 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011).

$$\begin{aligned} F_{bk} &= 6 \text{ MPa}; & f_d &= \frac{6}{2} = 3 \text{ MPa} \\ \gamma_m &= 2,0; \end{aligned}$$

Em seguida calculou-se o índice de esbeltez da parede que consiste na divisão entre altura efetiva pela espessura efetiva, item 10.1.2 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011).

$$\begin{aligned} h_e &= 2,80 \text{ m}; & \lambda &= \frac{2,80}{0,14} = 20 & 20 < 24 \text{ (Não Armado) OK!} \\ t_e &= 0,14 \text{ m}; \end{aligned}$$

Posterior ao cálculo da esbeltez calculou-se o coeficiente redutor devido a esbeltez e a força normal resistente de cálculo, que são obtidos por meio das equações do item 11.2.1 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011).

$$R = \left[1 - \left(\frac{20}{40} \right)^3 \right] = 0,875$$

$$f_d = 3 \text{ MPa}$$

$$A = 0,061 \text{ m}^2$$

$$N_{rd} = 3 \cdot 0,061 \cdot 0,875 = 0,16013 \text{ MPa} = 160,13 \text{ kN/ m}^2$$

Sendo a compressão da argamassa igual a 0,7. F_{bk} tem-se:

$$0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ MPa}$$

Desta forma em consonância com a tabela 3 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011), $f_{tk} = 0,2 \text{ MPa}$ com direção da tração normal a fiada.

Por meio deste pode-se determinar a resistência característica ao cisalhamento f_{vk} na junta horizontal da parede, através da tabela 4 da mesma norma, onde para resistência de argamassa igual a 4,2 utiliza-se a equação $0,15 + 0,5 \sigma \leq 1,4$, assim:

$$\sigma = 0,063 \text{ MPa}$$

$$0,15 + 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,063 \leq 1,4$$

$$0,18 \leq 1,4 \text{ OK!}$$

A tensão de cisalhamento de cálculo foi obtida mediante a equação para peças de alvenaria não armada do item 11.4.1 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011), onde:

$$V_d = 20,47 \cdot 1,4 = 28,66$$

$$\text{kN}$$

$$b = 0,14 \text{ m}$$

$$h = 2,80 \text{ m}$$

$$\tau_{vd} = \frac{28,66}{0,14 \cdot 2,80} = 73,11 \text{ kN/m}^2 = 0,073 \text{ MPa}$$

$$\tau_{vd} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m} = \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ MPa}$$

$$0,073 \leq 0,09 \text{ OK!}$$

Após a verificação ao cisalhamento, verificou-se a flexo-compressão por meio da equação do item 11.5.2 da NBR 15961/1 (ABNT, 2011), onde:

$$N_d = 110,59 \cdot 1,4 = 154,83 \text{ kN/m}$$

$$M_d = 130,81 \cdot 1,4 = 183,13 \text{ Kn.m}$$

$$K = 1,5$$

$$W = \frac{2,55 \cdot 2,80^2}{6} = 3,33 \text{ m}^3$$

$$A = 0,061 \text{ m}^2$$

$$R = 0,875$$

$$\frac{154,83}{0,061 \cdot 0,875} + \frac{183,13}{3,33 \cdot 1,5} = 2900,8 + 36,7 = 2937,5 \leq 3000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{OK!}$$

Por fim verificou-se a flexo-tração, onde minora a ação permanente e majora a ação do vento. Reboredo (2013) apresenta a Equação 1 para o cálculo da flexo tração.

$$0,9 \cdot \sigma_G - 1,4 \cdot \sigma_{\text{VENTO}} \leq \frac{f_{tk}}{\gamma_m} \quad (1)$$

Assim para encontrar a σ_{VENTO} , utilizou-se a Equação 2.

$$\sigma_V = \frac{M_v \cdot X_{\max.}}{I_y} \quad (2)$$

$$\sigma_G = 0,063 \text{ MPa}$$

$$M_v = 130,81 \text{ kN.m}$$

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{2,80 \cdot 2,55^3}{12} = 3,87 \text{ m}^4$$

$$X_{\max.} = 1,28 \text{ m}$$

Calculando, tem-se:

$$\sigma_V = \frac{130,8 \cdot 1,28}{3,87 \cdot 1000} = 0,04 \text{ MPa}$$

$$0,9 \cdot 0,063 - 1,4 \cdot 0,04 \leq \frac{0,2}{2}$$

$$0,001 \leq 0,1 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

Avaliando as verificações da parede 10 (b) pode se analisar que a mesma possui tração, no entanto não é necessário armar pois a resultante não ultrapassa o f_{td} (0,1 MPa). Caso a tração fosse maior a primeira opção não seria armar, pois existe ainda outros meios

como engastar a laje ou aumentar as áreas resistente por meio de grauteamento por exemplo (REBOREDO, 2013).

Neste sentido se a abordagem do projeto fosse diferente os resultados poderiam ter sido invertidos, sendo que as paredes que possuem maior incidência de tração são as que tem menor área, assim se o projeto tivesse considerado outra distribuição de cargas verticais – grupos isolados de paredes – ou considerado a rigidez da laje através de abas ou lintéis esta verificação de tração iria ser superada.

Orçamentação

Após a realização dos cálculos para o sistema construtivo em alvenaria estrutural e a estrutura em concreto armado, realizou-se o quantitativo de materiais para assim desenvolver os orçamentos sintéticos.

Para a realização dos orçamentos foi utilizado a planilha de custo de composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI em referência ao mês de setembro de 2017, sendo esta não desonerada. O orçamento foi desenvolvido por meio de composições, desta forma a planilha do SINAPI não aborda a composição de todos os tipos de blocos por exemplo.

Neste sentido a planilha utilizada possui apenas composições para blocos de concreto com resistência de 4,5 e 14 MPa, como o bloco utilizado para a realização do projeto foi de 6 MPa utilizou-se a composição de 14MPa. No mesmo caso encaixa-se as lajes e vigas onde foi utilizado o fck do concreto de 25 MPa, mas em decorrência da planilha não oferecer este utilizou-se o concreto com fck de 20 MPa.

Deste modo obteve-se o valor total da superestrutura de cada sistema construtivo, sendo o custo total da superestrutura em alvenaria estrutural de R\$134.698,68 reais e o de concreto armado de R\$179.920,26 reais. Por meio destes o sistema construtivo em alvenaria estrutural apresentou-se 25,13% mais econômico que a estrutura em concreto armado.

Ponderações sobre os sistemas

Percebe-se que em comparação com Rabelo (2004) a porcentagem de economia do sistema em alvenaria estrutural quando comparado com o de concreto armado foi

semelhante, pois o autor apresentou uma porcentagem de economia, para edificações de até 3 pavimentos, entre 25 a 30%.

Neste sentido o resultado obtido foi satisfatório, considerando que o trabalho foi realizado com foco restrito a superestrutura, não abordando outros pontos importantes que intervêm no orçamento final como a mão-de-obra, tempo de execução, qualidade, entre outros.

Além das limitantes já citadas, existem muitos outros fatores que intervêm no custo de uma edificação em alvenaria estrutural, sendo as principais:

- a) Concepção do projeto: quando não elaborado com o conceito de coordenação modular ocasiona grande utilização de blocos compensadores além de juntas a prumo onde eleva o custo e diminui a resistência das paredes;
- b) Experiência profissional: o sistema obtém os melhores resultados quando seus pontos fortes são explorados, deste modo a experiência influencia de forma direta;
- c) Logística: é um dos fatores que mais influenciam na determinação dos custos de insumos, podendo em casos de obras muito distantes das indústrias – de blocos por exemplo - o sistema tornar-se inviável.

Considerações Finais

O sistema construtivo em alvenaria estrutural apresenta-se como uma alternativa para diminuição de custos e rapidez de execução tanto para habitações de padrão baixo como construções em geral. Desta forma a economia não é a única vantagem do sistema em questão, o mesmo apresenta vantagens em relação: a qualidade por demandar de projetos bem elaborados e mão de obra qualificada; racionalidade pois proporciona melhor organização do canteiro em virtude da menor diversidade de materiais; geração de entulho minimizada pois como não pode-se realizar rasgos nos blocos a obra como um todo se torna mais limpa e; diminuição da quantidade de trabalhadores em decorrência de necessitar apenas de serventes e pedreiros dispensando armadores e carpinteiros.

Ao contrário do que se pensa o sistema em alvenaria estrutural não serve apenas para habitações pequenas ou de baixa renda, pois quando desenvolvido de forma racional e explorado os recursos que o sistema proporciona é possível obter uma edificação com qualidade, estética e economia.

Por outro lado o concreto armado também apresenta suas vantagens, sendo estas responsáveis pela sua vasta utilização. Destas cabe ressaltar: menor custo para edificações de grande porte, ou seja, com maiores solicitações; aceitabilidade cultural; facilidade de obtenção dos insumos para sua construção, tanto de materiais como mão de obra e; fácil adaptação da estrutura ao projeto arquitetônico.

Deste modo é necessário avaliar de forma racional o projeto, para definir qual sistema se torna mais viável e ao mesmo tempo atende a todas as necessidades. Ambos os sistemas possuem vantagens como também desvantagens, desta forma cabe ao engenheiro ou arquiteto avaliar e apresentar a melhor alternativa para seus respectivos clientes.

Portanto, por meio dos dados obtidos pode-se afirmar que o método em alvenaria estrutural com blocos de concreto apresentou melhor viabilidade financeira para o edifício em questão. Entretanto este resultado poderia ser alterado de forma negativa caso o mesmo possuísse maior número de pavimentos – demandando maior resistência dos blocos – ou arquitetura diferenciada, pois necessitaria a maior utilização de blocos compensadores que consequentemente proporcionaria juntas a prumo diminuindo a resistência das paredes.

Referências

ACCETTI, Kristiane Mattar. *Contribuições ao Projeto Estrutural de Edifícios em Alvenaria*. 1998. 261 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**:. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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

_____. *NBR 6123*: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. *NBR 13532*: Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. *NBR 15961/1*: Alvenaria Estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. *Déficit Habitacional no Brasil*. 2016. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/deficit-habitacional/deficit-habitacional-no-brasil>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

MANZIONE, Leonardo. *Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural*. São Paulo: Nome da Rosa, 2004. 116 p.

OLIVEIRA JUNIOR, Valdir. *Recomendações para Projeto de Edifícios em Alvenaria Estrutural*. 1992. 273 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia, Departamento de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992

PALERMO, Carolina. *Sustentabilidade Social do Habitar*. Florianópolis: Edição da Autora, 2009. 96 p. Revisão: Ana Lúcia Pereira do Amaral.

POSSA, Diones Miguel. *Projeto de Edificação em Alvenaria Estrutural*. 2011. 130 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

RABELO, Antônio Carlos Nogueira. *Dimensionamento de Alvenaria Estrutural Segundo Recomendações do Eurocode 6*. 2004. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

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

REBOREDO, André Rampazzo. *Dimensionamento de um Edifício em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto: Comentários sobre a NBR 15961-1 (2011)*. 2013. 173 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ROMAN, Humberto; PARIZOTTO FILHO, Sérgio. *Manual de Alvenaria Estrutural com Blocos Cerâmicos*. S.d. 18 f. Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/manual-de-alvenaria-estrutural/view>>. Acesso em: 28 mar. 2017

TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José Martins. *Alvenaria Estrutural*. São Paulo: Pini, 2010.

ZWIRTES, Arlei Afonso. *Dimensionamento de pilares retangulares de concreto armado pela NBR 6118/2014 e verificação da capacidade resistente da seção pelo diagrama de*

interação. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2016.