

ALVENARIA ESTRUTURAL EM COMPARAÇÃO COM CONCRETO ARMADO: VIABILIDADE ECONÔMICA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS

RAFAEL, David Matheus; JÚNIOR, Renato da Silva Varjão¹
Prof. Me. Marcelo Cavalcanti da Silva²
Universidade São Francisco
david.matheus@mail.usf.edu.br; renato.v.junior@mail.usf.edu.br

¹Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. Diante da grande demanda de novas soluções para o mercado da construção civil, existe uma grande procura por métodos que apresentem maior eficiência e produtividade, a fim de tornar as construções mais rentáveis. Uma das etapas mais importantes é a escolha do sistema estrutural que será utilizado. Atualmente, os sistemas estruturais em concreto armado e alvenaria estrutural são os mais utilizados no Brasil. Partindo da ideia de que ambos apresentem viabilidade técnica, o presente estudo visa analisar a viabilidade de execução de uma edificação residencial, comparando os custos de materiais e mão de obra de cada sistema estrutural. Como metodologia, adotou-se um modelo de uma edificação criado especificamente para esse estudo. Realizou-se o dimensionamento de ambos os sistemas através de *softwares*. No final do estudo, verificou-se que o sistema em alvenaria estrutural apresentara maior economia para o edifício modelo em relação ao sistema em concreto armado.

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural, Concreto Armado, Sistema Construtivo.

Abstract. Given the great demand for new solutions for the civil construction market, there is a great demand for methods that present greater efficiency and productivity, in order to make constructions more profitable. One of the most important steps is choosing the structural system that will be used. Currently, structural systems in reinforced concrete and structural masonry are the most used in Brazil. Based on the idea that both have technical feasibility, this study aims to analyze the feasibility of implementing a residential building, comparing the costs of materials and labor for each structural system. As a methodology, a model of a building created specifically for this study was adopted. Both systems were dimensioned using *software*. At the end of the study, it was found that the structural masonry system had greater economy for the model building compared to the reinforced concrete system.

Introdução

Nos últimos anos, a construção civil tem evoluído consideravelmente no mundo, e principalmente no Brasil. Devido a esse crescimento, é comum que o mercado se torne cada vez mais competitivo, e conseqüentemente mais exigente, sendo necessário novas soluções de construção para atender as demandas do mercado com qualidade, eficiência e sustentabilidade. Segundo Santos e Jungles (2008), o futuro da construção civil se dará através de processos estruturados, focados na produtividade.

Existem diversos métodos construtivos a serem considerados na construção, sendo necessário um estudo de viabilidade para definir qual será o mais adequado para a edificação. No Brasil, o sistema estrutural mais utilizado é o concreto armado, pois apresenta grande durabilidade e resistência, sendo capaz de atender aos mais diversos tipos de arquitetura. Por

outro lado, o sistema construtivo em alvenaria estrutural vem ganhando considerável espaço na indústria da construção civil, embora ainda existam construtoras que não abraçam inovações em seus processos produtivos e gerenciais (SANTOS; JUNGLES, 2008).

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a alvenaria é um sistema construtivo muito utilizado desde o início da atividade humana. Apesar de existirem grandes referências históricas quanto ao uso desse sistema estrutural, não era considerado um material de estudo. Ramalho e Corrêa (2003) também citam que apenas recentemente a alvenaria estrutural se tornou uma opção viável como sistema construtivo, passando a ser projetada com base em princípios científicos rigorosos. Esse fato foi influenciado por um aumento significativo na pesquisa básica e aplicada ao longo dos últimos 50 anos.

Ramalho e Corrêa (2003) citam que, o sistema em alvenaria é utilizado no Brasil desde o início do século XVI, entretanto, demorou muito tempo para começar ser encarado como um sistema construtivo mais elaborado e voltado para a obtenção de edifícios. Mesmo que com um desenvolvimento mais lento, o sistema acabou sendo muito bem aceito, e é um dos principais sistemas utilizados na atualidade.

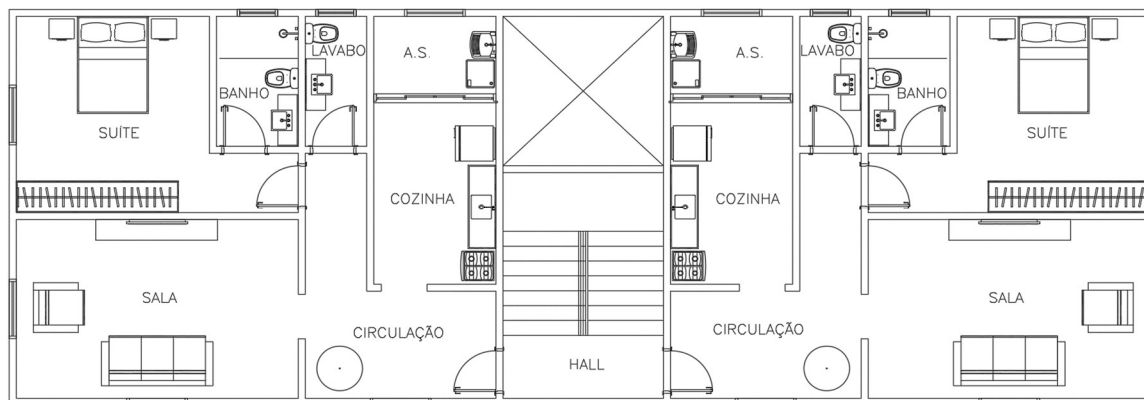
A alvenaria estrutural possui diversas vantagens, sendo a econômica uma das principais, em virtude da otimização de tarefas em obra por meio de técnicas executivas simplificadas, facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, gerando redução no desperdício de materiais em decorrência do constante retrabalho. Como consequência, o sistema construtivo em alvenaria estrutural é capaz de proporcionar flexibilidade no planejamento das etapas de execução das obras. Isso torna o sistema em alvenaria competitivo no Brasil quando comparado com o concreto armado e o aço (MOHAMAD, 2020).

Devido ao crescimento da alvenaria estrutural e da necessidade de novas soluções para a construção civil, surgiu o interesse de conhecer melhor esse sistema construtivo, e compará-lo ao concreto armado. Partindo dessa ideia, optou-se por realizar um estudo de viabilidade de um edifício com os dois sistemas construtivos citados, e definir qual seria a opção mais viável e eficaz para a edificação, comparando custos de material e mão de obra para uma mesma arquitetura definida.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento desse estudo, utilizou-se como modelo uma edificação residencial, criada pelos autores deste trabalho. A edificação é composta por um pavimento térreo, dois pavimentos tipos, e uma área destinada para o reservatório. Cada pavimento possui dois apartamentos, contemplando uma área de 180,89 m², já o reservatório possui uma área de 11,28 m², totalizando uma área total de 553,95 m². A planta baixa do pavimento pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Planta Baixa Pavimento Tipo



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Para a realização do comparativo, efetuou-se o dimensionamento do edifício com o auxílio de *softwares* de cálculo estrutural. Para o dimensionamento da estrutura em concreto armado, foi utilizado o *software* TQS Estudante v.22.6 e para o dimensionamento da estrutura em alvenaria estrutural foi utilizado o *software* TQS Alvest Estudante v.22.6. Para ambos os sistemas estruturais, foi considerada a mesma arquitetura, mantendo as características para ambos os modelos.

Considerou-se que a edificação se encontra em uma área urbana, portanto a classe de agressividade considerada é a Classe II. De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, para essa classe de agressividade, recomenda-se o uso de concreto com resistência mínima a compressão de 25 Mpa. A norma também recomenda um cobrimento mínimo para cada elemento estrutural com base na classe de agressividade:

- Laje – cobrimento mínimo de 2,5 cm;
- Viga/ Pilar – cobrimento mínimo de 3,0 cm;
- Fundações – cobrimento mínimo de 3,0 cm.

Figura 2 – Tabela de resistência do concreto com base na classe de agressividade

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

Para as cargas atuantes na estrutura, considerou-se o peso próprio dos elementos estruturais e as cargas provenientes do uso da estrutura, todas essas cargas seguem as recomendações da ABNT NBR 6120.

Considerou-se a presença de esforços horizontais devido a ação do vento na estrutura, levando em conta a localização do edifício. Para isso utilizou-se as recomendações da ABNT NBR 6123:1988.

Para a análise da estabilidade e segurança do edifício, respeitou-se os critérios estabelecidos pela NBR 6118:2014, onde as verificações de Estado Limite Último (ELU) foram analisadas de modo que não houvesse combinações de ações que levassem as estruturas ao colapso.

Durante a análise das deformações da estrutura, efetuou-se a verificação de Estado Limite de Serviço (ELS), onde nenhuma combinação de ações causasse desconforto durante a utilização da estrutura.

Em ambos os sistemas estruturais, considerou-se a mesma estrutura de fundação, adotando-se o uso de sapata isolada em concreto armado apoiadas em solo com resistência admissível de 4 kgf/cm².

Critérios para estrutura em concreto armado

Para o dimensionamento do sistema em concreto armado, utilizou-se as recomendações da ABNT NBR 6118:2014. As características da estrutura são:

- Pé-direito com 2,80 m de altura;
- Laje maciça com 12 cm de altura;
- Paredes com espessura osso de 14 cm;
- Vigas com largura de 14 cm e alturas variáveis de acordo com posição em projeto;
- Pilares com seção de 14x40 cm, respeitando as condições da NBR 6118:2014 para pilares com 14 cm de largura;
- Tijolos cerâmicos de vedação com medidas de 14x19x29 cm e argamassa de assentamento de 1 cm de espessura.

Critérios para estrutura em alvenaria estrutural

Para o dimensionamento da estrutura em alvenaria estrutural, as características da estrutura são:

- Pé-direito com 2,80 m de altura;
- Laje maciça com 12 cm de altura;
- Paredes com espessura osso de 14 cm;
- Blocos estruturais de concreto com modulação 40x15.

A resistência dos blocos estruturais foi definida com base nas recomendações na ABNT NBR 6136. De acordo com essas recomendações, adotou-se a utilização de blocos com o f_{bk} de 6 MPa. Considerou-se a utilização de argamassa de assentamento com resistência de 4 MPa, e para o graute considerou-se uma resistência de 15 MPa.

Figura 3 – Tabela de resistências de blocos estruturais de concreto.

Tipo de bloco	f_{bk}	f_a	f_{gk}	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk}^*/f_{pk}	f_{pk}	f_{pk}^*	Espessura mínima de parede do bloco mm
	MPa					MPa		
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 × 39 cm) 	3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
	4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
	6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
	8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
	10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
	12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
	14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
	16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
	18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
	20,0	14,0	35,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
	22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
	24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25

Fonte: ABNT NBR 6136.

Levantamento de quantitativos

Após a realização do dimensionamento de ambos os sistemas estruturais, foi feito um levantamento de quantitativos dos materiais empregados gerados pelos *softwares* utilizados. Para o sistema em concreto armado, considerou-se os seguintes materiais:

- Concreto;
- Aço;
- Formas de madeira;
- Tijolos cerâmicos de vedação;
- Argamassa de assentamento.

Para o sistema em alvenaria estrutural, considerou-se os seguintes materiais:

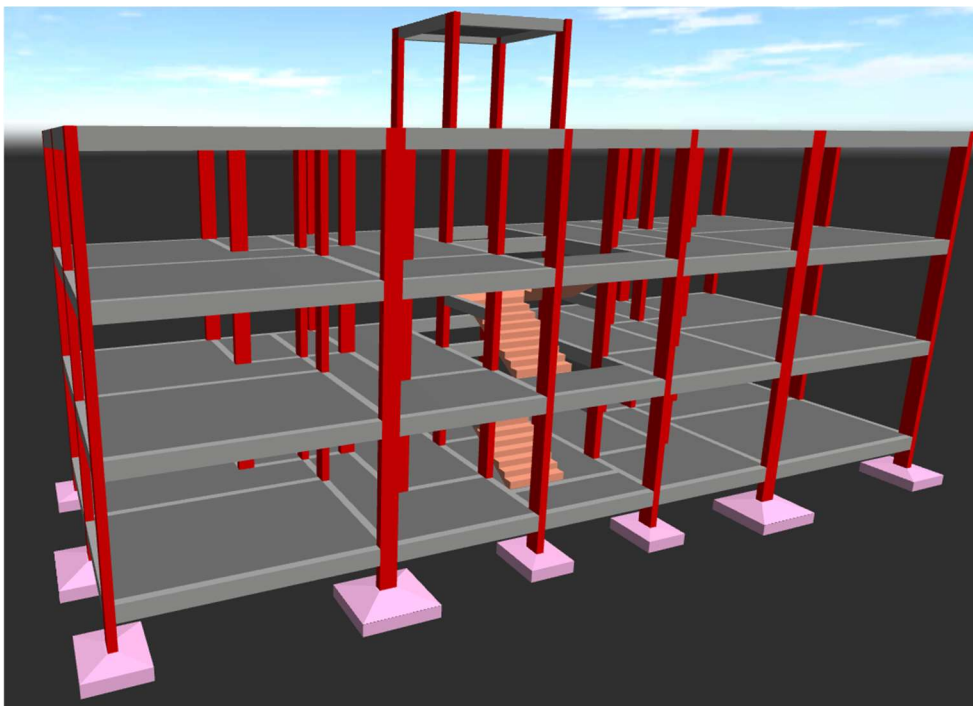
- Blocos estruturais de concreto;
- Argamassa de assentamento;
- Concreto;
- Aço;
- Formas de madeira;
- Graute.

Feito o levantamento de materiais, realizou-se o levantamento de custos de mão de obra para cada sistema construtivo. Para a composição dos custos de materiais e mão de obra, utilizou-se como referência o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) referente ao mês de setembro de 2021.

Resultados e Discussões

Para a comparação dos sistemas estruturais, realizou-se as seguintes concepções estruturais.

Figura 4 – Modelo estrutural em concreto armado



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 5 – Modelo em alvenaria estrutural



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A partir dos dados obtidos através dos *softwares*, realizou-se a comparação dos sistemas estruturais pelas etapas construtivas, facilitando a comparação entre os sistemas. As etapas foram classificadas da seguinte forma:

- Fundações: para os dois sistemas construtivos utilizou-se a mesma solução para a fundação;
- Elementos em concreto armado: para o sistema estrutural em concreto armado considerou-se todas as vigas e pilares da sua concepção; para o sistema em alvenaria estrutural considerou-se as vigas baldrame utilizadas para transferir a carga da estrutura para a fundação;
- Lajes: em ambos os sistemas considerou-se o uso de lajes maciças em concreto armado com 12 cm de altura;
- Alvenarias: considerou-se blocos cerâmicos de vedação para o sistema em concreto armado e blocos estruturais de concreto para o sistema em alvenaria estrutural.

Na tabela 1 podemos ver o resumo dos custos dos materiais e da mão de obra utilizados para o estudo. Estão detalhados os valores para cada etapa da edificação e uma relação entre o custo de cada item com o custo total da edificação, possibilitando assim a verificação da influência de cada item sobre o custo total da edificação.

Tabela 1 – Resumo de custos de material e mão de obra

EDIFÍCIO CONCRETO ARMADO				ALVENARIA ESTRUTURAL				
ETAPA	DESCRIÇÃO	VALOR	%	ETAPA	DESCRIÇÃO	VALOR	%	
FUNDAÇÃO	MATERIAL	R\$ 15.948,12	5%	FUNDAÇÃO	MATERIAL	R\$ 15.948,12	6%	
	MÃO DE OBRA	R\$ 5.398,60	2%		TOTAL	MÃO DE OBRA	R\$ 5.398,60	2%
	TOTAL	R\$ 21.346,71	6%			TOTAL	R\$ 21.346,71	8%
CONCRETO ARMADO	MATERIAL	R\$ 95.938,11	28%	CONCRETO ARMADO	MATERIAL	R\$ 19.313,12	7%	
	MÃO DE OBRA	R\$ 37.651,03	11%		TOTAL	MÃO DE OBRA	R\$ 8.514,17	3%
	TOTAL	R\$ 133.589,14	40%			TOTAL	R\$ 27.827,29	10%
LAJES	MATERIAL	R\$ 91.691,86	27%	LAJES	MATERIAL	R\$ 91.691,86	33%	
	MÃO DE OBRA	R\$ 32.133,57	10%		TOTAL	MÃO DE OBRA	R\$ 32.133,57	12%
	TOTAL	R\$ 123.825,44	37%			TOTAL	R\$ 123.825,44	45%
ALVENARIA	MATERIAL	R\$ 27.998,70	8%	ALVENARIA	MATERIAL	R\$ 69.102,44	25%	
	MÃO DE OBRA	R\$ 30.917,00	9%		TOTAL	MÃO DE OBRA	R\$ 34.152,50	12%
	TOTAL	R\$ 58.915,70	17%			TOTAL	R\$ 103.254,94	37%
SUB-TOTAL	MATERIAL	R\$ 231.576,79	69%	SUB-TOTAL	MATERIAL	R\$ 196.055,54	71%	
	MÃO DE OBRA	R\$ 106.100,20	31%		TOTAL	MÃO DE OBRA	R\$ 80.198,84	29%
TOTAL	R\$ 337.676,98	100%	TOTAL	R\$ 276.254,38		100%		

Na tabela 2, podemos ver a diferença de custos entre o sistema em concreto e o sistema em alvenaria estrutural.

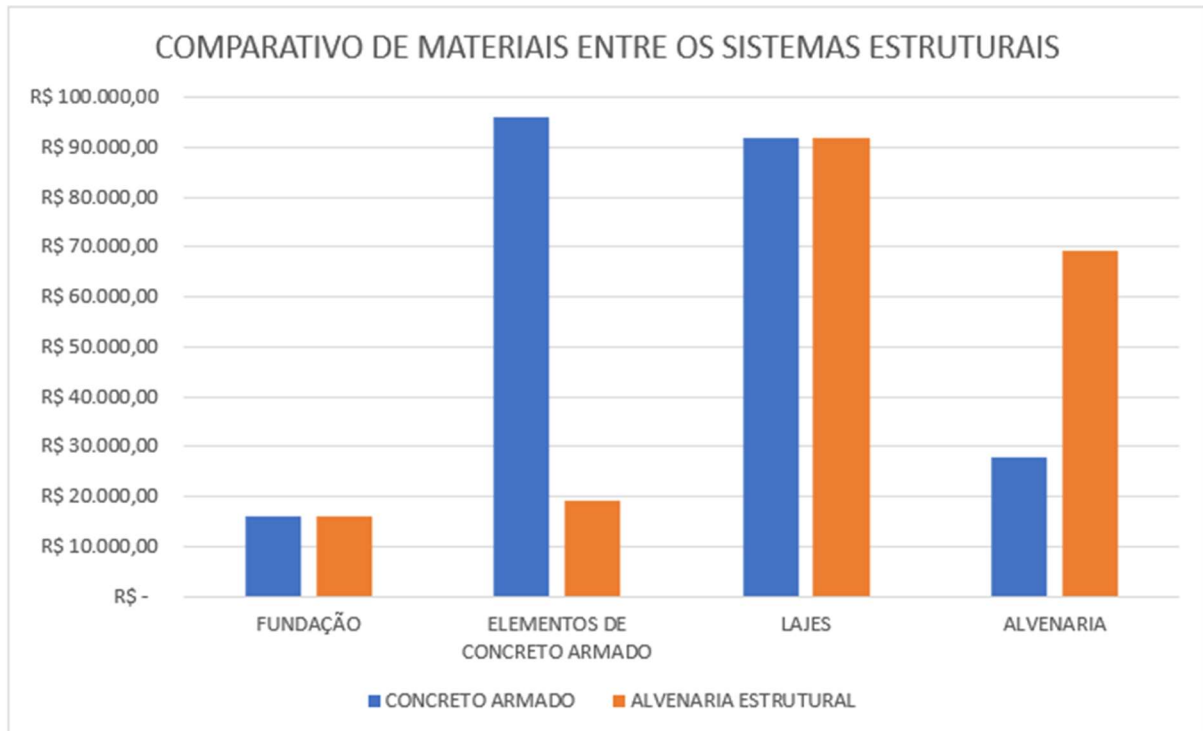
Tabela 2 – Diferença entre sistemas estruturais.

DIFERENÇA ENTRE SISTEMAS		
CONCRETO ARMADO	R\$ 337.676,98	100%
ALVENARIA ESTRUTURAL	R\$ 276.254,38	100%
DIFERENÇA TOTAL	R\$ 61.422,61	18,19%

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Como esperado, verificou-se que o sistema em alvenaria estrutural apresentou uma economia significativa em relação ao sistema em concreto armado. No gráfico 1, são comparados os valores de cada etapa do edifício.

Gráfico 1 – Comparativo de custo de materiais entre os sistemas estruturais.



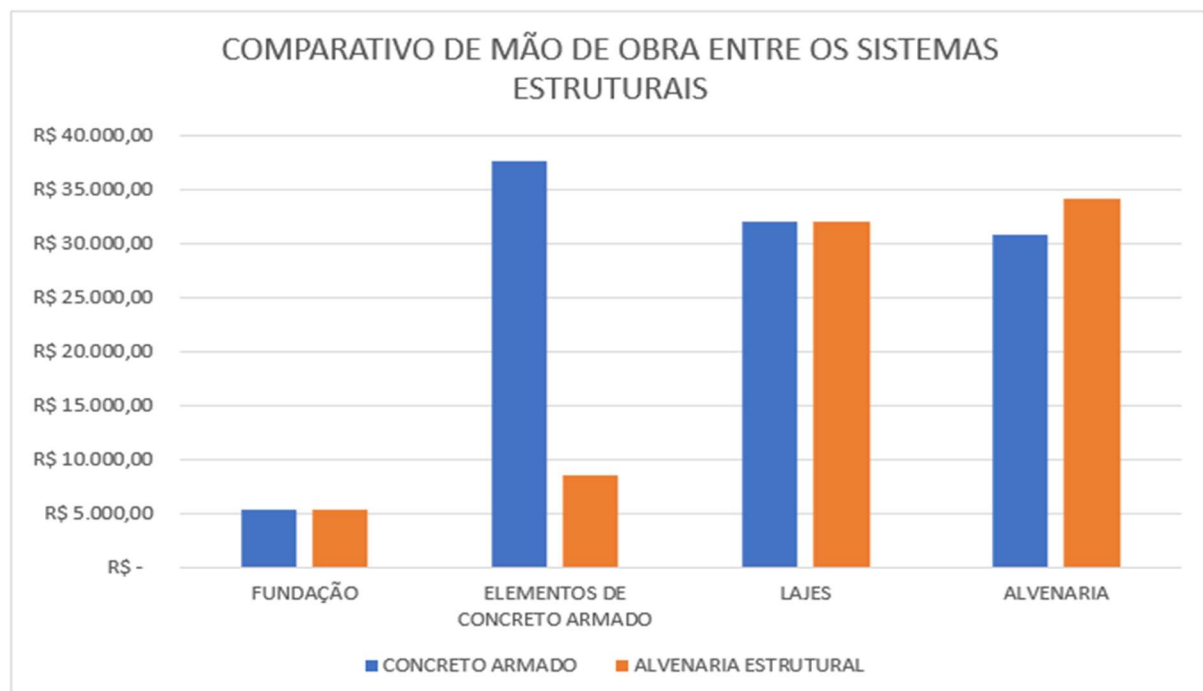
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Como demonstrado no gráfico 1, ambos os sistemas tiveram o mesmo custo de material para a fundação e para as lajes, pois utilizou-se a mesma solução para ambos.

Observou-se que o sistema em concreto armado teve um custo 397% maior que o sistema em alvenaria estrutural nos elementos que utilizam concreto armado. Já o sistema em alvenaria estrutural apresentou um custo 147% maior nos elementos de alvenaria.

No gráfico 2 são comparados os custos de mão de obra para cada etapa construtiva.

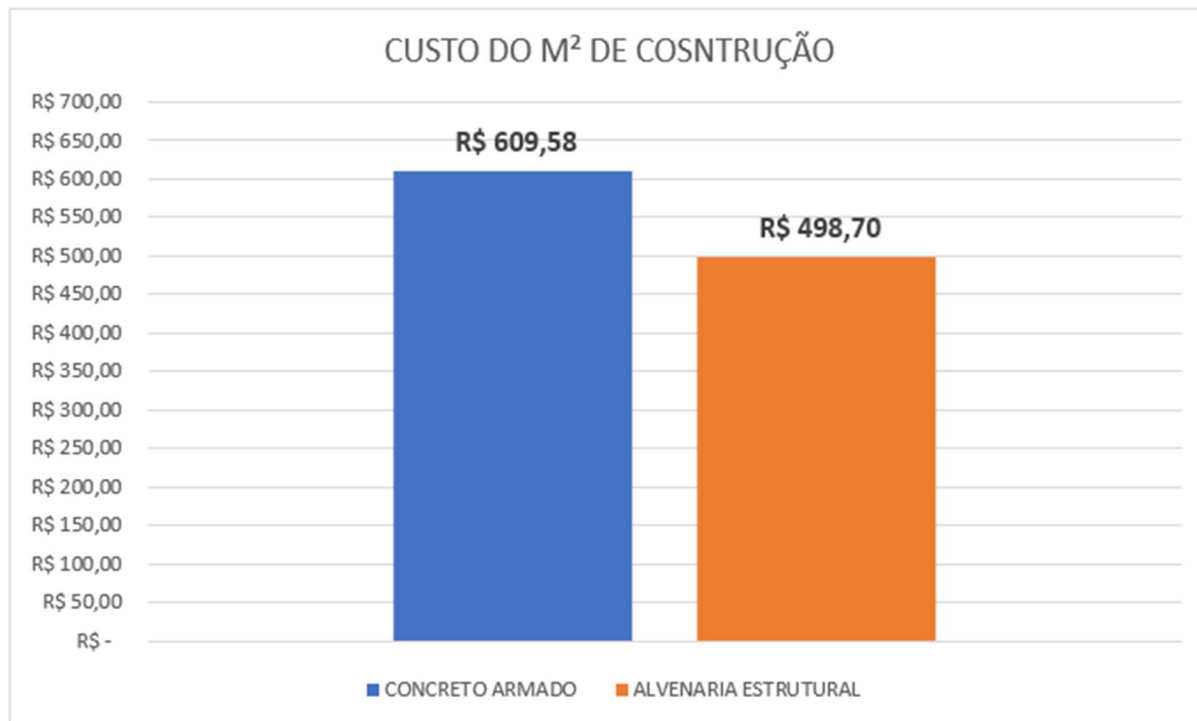
Gráfico 2 - Comparativo de custo de mão de obra entre os sistemas estruturais.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Como pode ser observado no Gráfico 2, o sistema em concreto armado apresentou um custo de mão de obra 342% maior que o sistema em alvenaria estrutural na etapa relacionada aos elementos em concreto armado. Já o sistema em alvenaria estrutural apresentou um custo de mão de obra 10,5% maior na etapa dos elementos de alvenaria.

Gráfico 3 – Custo por m² de construção



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Como pode ser observado no Gráfico 3, a construção em alvenaria estrutural apresenta uma economia de R\$ 110,88 em relação ao concreto armado.

Somando os custos de materiais e mão de obra em todas as etapas construtivas, observou-se que o sistema em alvenaria estrutural apresentou uma economia de 18,5% no custo total em relação ao sistema em concreto armado. Como observado, essa economia se deve principalmente a menor utilização de elementos de concreto armado, sendo esses elementos responsáveis pelo maior custo do sistema em concreto armado.

Conclusões

O presente estudo comparou dois dos sistemas estruturais mais utilizados no Brasil, sendo sistemas em concreto armado e sistemas em alvenaria estrutural. Buscou-se analisar a viabilidade de ambos os sistemas utilizando uma mesma concepção arquitetônica de modo a identificar o sistema mais eficiente para esse caso.

A partir do dimensionamento dos sistemas estruturais com auxílio do *software* TQS e dos resultados obtidos, conclui-se que o sistema em alvenaria estrutural se mostrou mais viável do que o sistema em concreto armado para essa concepção arquitetônica, proporcionando uma economia de 18,5% em relação ao sistema em concreto armado. Entretanto, é importante salientar que o resultado desse estudo não deve ser generalizado para todas as construções, para a escolha do sistema estrutural, é preciso analisar diversos fatores que podem influenciar diretamente na escolha do sistema.

Por fim, como tema de estudos futuros, sugere-se a utilização de diferentes concepções arquitetônicas para análise de viabilidade entre os sistemas apresentados.

Referências Bibliográficas

ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** - 2014. 238 p.

_____. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações** – 2019. 61 p.

_____. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações** – 1988. 66 p.

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria** – 2016. 10 p.

_____. **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural Parte 1: Projeto** – 2020. 70 p.

ARAÚJO, José Milton de. **Projeto Estrutural De Edifícios De Concreto Armado**. Rio Grande. Dunas, 2009. 2.ed.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo: Volume I**. --5. ed. --São Paulo: Blücher, 2019.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. – Segundo a NBR 6118:2014. EDUFSCAR. São Carlos – SP. 2020.

FUSCO, Péricles Brasiliense; ONISHI, Minoru. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. – São Paulo, SP: Cengage, 2017.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Construções de Concreto, Vol. 1: Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 2008.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. – 2. ed. ampliada e revisada conforme a NBR 16868/2020 – São Paulo: Blücher, 2020.

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

SANTOS, A. de P. L. e JUNGLES, A. E. **Como gerenciar as compras de materiais na construção civil**. 1ª edição, Editora Pini, 2008.