



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE A VIGA  
BALDRAME E O SISTEMA DE PEDRA ARGAMASSADA NA  
ALVENARIA ESTRUTURAL**

**JOSÉ HIGOR PEREIRA DE ANDRADE**

**POMBAL – PB**

**2023**

JOSÉ HIGOR PEREIRA DE ANDRADE

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE A VIGA BALDRAME  
E O SISTEMA DE PEDRA ARGAMASSADA NA ALVENARIA  
ESTRUTURAL

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Unidade Acadêmica de  
Ciências e Tecnologia Ambiental da  
Universidade Federal de Campina Grande,  
como parte dos requisitos necessários  
para obtenção do título de Engenheiro  
Civil.

Orientador(a): Prof. Me. Luiz Ricardo da  
Silva Linhares.

POMBAL – PB

2023

A554a Andrade, José Higor Pereira de.

Análise da viabilidade econômica entre a viga baldrame e o sistema de pedra argamassada na alvenaria estrutural / José Higor Pereira de Andrade. – Pombal, 2023.

31 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Prof. Me. Luiz Ricardo da Silva Linhares”.

Referências.

1. Alvenaria estrutural. 2. Fundações. 3. Viabilidade financeira. 4. Projeto de construção. 5. Construção civil - Custos. I. Linhares, Luiz Ricardo da Silva. II. Título.

CDU 624-15 (043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

JOSÉ HIGOR PEREIRA DE ANDRADE

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE A VIGA  
BALDRAME E O SISTEMA DE PEDRA ARGAMASSADA NA  
ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente (JOSÉ HIGOR PEREIRA DE ANDRADE) **APROVADO** em 01 de dezembro de 2023 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande  
Registre-se e publique-se.

Prof. Me. Luiz Ricardo da Silva Linhares  
(Orientador – UFCG)


Documento assinado digitalmente  
 LUIZ RICARDO DA SILVA LINHARES  
Data: 08/12/2023 12:06:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eduardo Morais de Medeiros  
(Membro Interno – UFCG)



Assinado digitalmente por  
Eduardo Morais de Medeiros  
Razão: Eu atesto a precisão e a  
integridade deste documento  
Localização: Pombal/PB  
Data: 2023.12.08 18:23:51-03'00'

Prof. Me. Valdeir Gonçalves da Silva Filho  
(Membro Externo – UNIFIP CENTRO  
UNIVERSITÁRIO)

Documento assinado digitalmente  
 VALDEIR GONCALVES DA SILVA FILHO  
Data: 08/12/2023 19:40:27-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é o fruto de uma jornada longa e desafiadora na universidade. Foram vários anos empenhados com dedicação e perseverança. Durante esse período, enfrentei diversas dificuldades, abri mão de muitas coisas, e só tenho a agradecer a Deus por não ter me deixado desistir, porque vontade de desistir eu tive. Ninguém chega ao topo sozinho. Essa caminhada foi possível graças ao apoio constante daqueles que estiveram ao meu lado, oferecendo suas preces pelo meu sucesso e me auxiliando de diversas formas.

Expresso minha gratidão a Deus pelo dom da vida, pela saúde e coragem que me concedeu para encarar com determinação os desafios que enfrentei ao longo destes anos.

Aos meus pais, Augusto Neto e Ana Paula, expresso minha profunda gratidão por todo o amor, carinho e cuidado que sempre dedicaram a mim. Tudo o que fiz e farei é moldado pelo amor estratosférico de vocês. Agradeço por sonharem ao meu lado e por abrirem mão de tantas coisas para me proporcionar o melhor.

Agradeço aos meus avós, Ailton Pereira e Maria de Fátima (in memoriam), por sempre me incentivarem a perseguir os meus sonhos e por me fazerem acreditar que o caminho para o sucesso na vida está na educação. Os momentos que vivemos juntos sempre permanecerão no meu coração, pois nem o tempo, nem a distância, conseguirão apagar as alegrias que compartilhamos e, sobretudo, a cumplicidade que construímos.

À minha querida namorada, Bárbara Dalila, sou imensamente grato pelo amor, compreensão e paciência que demonstrou comigo durante esta fase desafiadora. Tenho certeza que iremos vencer, sempre juntos.

Aos amigos que fiz e que estiveram ao meu lado nesta jornada, quero expressar minha profunda gratidão pela amizade e pelo companheirismo. Em especial, quero agradecer a alguns deles: Diógenes Silva, Artur Lima, Felipe Rodrigues, Yves Lorrán, Dielyson Sampaio, Antônio Neto, Josivan Junior, Mayara Kettily, Leonam Kevin, Lis Marinho, e Nicolay Martins. Vocês estarão sempre em meu coração.

Ao Me. Luiz Ricardo, agradeço pela orientação e paciência que dedicou a mim ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que fazem parte do Campus Pombal da UFCG, as quais contribuíram para a realização desse sonho. Mesmo com todas as

limitações que uma Universidade Federal pode ter, estou encerrando esse ciclo graças a todos vocês. Muito obrigado!

*Os planos de Deus jamais se frustram.  
Jamais.*

# ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE A VIGA BALDRAME E O SISTEMA DE PEDRA ARGAMASSADA NA ALVENARIA ESTRUTURAL

*ANALYSIS OF ECONOMIC VIABILITY BETWEEN BALDRAME BEAM AND MORTARED STONE SYSTEM IN STRUCTURAL MASONRY*

JOSÉ HIGOR PEREIRA DE ANDRADE, e-mail: higorpereiraa.p@gmail.com

LUIZ RICARDO DA SILVA LINHARES, e-mail: luizrlinhares@gmail.com

---

## RESUMO

A demanda por métodos construtivos eficientes, que integrem qualidade, custo, tempo e sustentabilidade, impulsionou avanços tecnológicos. A alvenaria estrutural destaca-se no mercado devido ao seu custo relativamente mais baixo. Em razão da necessidade de reduzir custos, estudos comparativos focam especialmente em fundações para identificar soluções mais eficazes em termos de materiais e economia. Nesse contexto, foi desenvolvida uma análise comparativa entre dois tipos de fundações em alvenaria estrutural: pedra argamassada e viga baldrame com sapatas isoladas, com o intuito de determinar o modelo mais econômico. Para isso, foi elaborada uma modulação estrutural da edificação, permitindo quantificar as cargas atuantes. Os dados foram utilizados para dimensionar ambas as fundações, variando cargas e tensões do solo para analisar diferentes cenários. A comparação dos quantitativos, com base nos bancos de dados SINAPI e SEINFRA/CE, revelou que o sistema de pedra argamassada é mais viável economicamente em todos os cenários estudados nesta pesquisa. Conclui-se que estudos comparativos são essenciais para a tomada de decisão, visando a redução de custos na obra.

**Palavras-chave:** Alvenaria estrutural. Custos. Fundações. Quantitativos.

## ABSTRACT

The demand for efficient construction methods that integrate quality, cost, time, and sustainability has driven technological advancements. Structural masonry stands out in the market due to its relatively lower cost. In response to the need for cost reduction, comparative studies focus particularly on foundations to identify more effective solutions in terms of materials and economy. In this context, a comparative analysis was conducted between two types of foundations in structural masonry: mortar stone and strip footing with isolated footings, with the aim of determining the most economical model. To achieve this, a structural modulation of the building was developed to quantify the acting loads. The data were used to size both foundations, varying loads and soil pressures to analyze different scenarios. The comparison of quantities, based on SINAPI and SEINFRA/CE databases, revealed that the mortar stone system is more economically viable in all scenarios studied in this research. It is concluded that comparative studies are essential for decision-making, aiming at cost reduction in construction projects.

**Keywords:** Structural masonry. Costs. Foundations. Quantities.

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução das edificações ao longo da história é notável, partindo de abrigos rudimentares feitos com galhos de árvores, adobe e pedra, até alcançar as sofisticadas construções atuais, que utilizam materiais como concreto, aço e vidro. A necessidade por processos construtivos cada vez mais eficientes, que abrangem qualidade, custo, tempo de execução e sustentabilidade, impulsionou o desenvolvimento tecnológico de métodos



que visam atender às demandas do mercado. Esses métodos buscam conciliar agilidade com durabilidade e produtividade, ao mesmo tempo que reduzem custos.

Pode-se conceituar um sistema estrutural como uma composição estável de componentes projetados e construídos com o propósito de funcionar de maneira integrada para suportar e distribuir as cargas aplicadas na estrutura ao solo, sem ultrapassar as capacidades de resistência dos elementos (ONOUYE; ZUBERBUHLER; CHING, 2015).

No cenário brasileiro, predominantemente adota-se abordagens de construção convencionais, especialmente em projetos de casas unifamiliares. No entanto, tecnologias mais contemporâneas demonstram ser mais eficazes e proporcionar níveis superiores de qualidade, em comparação com os métodos tradicionais (PEREIRA, 2018).

Um dos métodos que tem como objetivo a otimização da construção é o sistema construtivo em alvenaria estrutural. Dessa forma, pode-se conceituar a alvenaria estrutural como um método de construção no qual as forças exercidas sobre o edifício são dispersas ao longo do plano da parede, resultando na própria vedação da estrutura desempenhando um papel estrutural (Martino, Giovana, 2021).

A alvenaria estrutural é uma técnica ancestral que, no passado, dependia do conhecimento prático transmitido de geração para geração. Esse método perdurou até o início do século XX. As construções incríveis da época, muitas das quais ainda se encontram bem preservadas, atestam a eficiência e durabilidade desse sistema construtivo (MOHAMAD, 2021).

A fundação de um sistema construtivo, também conhecida como subestruturas, são elementos estruturais da edificação responsáveis por transferir ao solo as cargas que sobre ela incidem (como peso da estrutura, forças do vento, etc.) e, por essa razão, seu dimensionamento leva em consideração aspectos geotécnicos e estruturais. Dessa forma, as cargas que recaem sobre ela fazem parte de uma série de distribuição de esforços que ocorre de forma hierárquica (BASTOS, 2016).

A escolha do tipo de fundação irá depender das características do local e das funcionalidades que cada tipo oferece. Um estudo geotécnico e um projeto estrutural adequado são essenciais para determinar a melhor solução de fundação para cada caso específico. Dessa forma, torna-se fundamental o dimensionamento para que a construção tenha uma longa vida útil, caso contrário, apresentará problemas no futuro (PANCIERA, 2014).

Conforme afirma Gonçalves (2016), a necessidade de reduzir custos na construção civil tem levado à realização de estudos comparativos entre tipos de fundações, visando identificar soluções eficazes em termos de materiais, economia e sustentabilidade. Para Barbosa (2015), ao avaliar os custos e comparar os materiais disponíveis, é possível determinar a viabilidade econômica de um projeto, verificando se o orçamento se adequa ao sistema construtivo e se beneficia os envolvidos, como construtores e equipamentos. Esse esforço é impulsionado pela crescente competição na indústria da construção civil, que exige maior produtividade e redução de custos.

No projeto estrutural do pavimento térreo, são empregadas estratégias específicas para efetuar a transferência das cargas provenientes da alvenaria deste nível para as fundações. Uma abordagem amplamente adotada na construção em alvenaria estrutural envolve a criação de uma cinta de respaldo. Essa cinta tem a função de direcionar as cargas provenientes das paredes do pavimento térreo para uma espécie de alvenaria feita de pedra argamassada, que subsequente é responsável por descarregar diretamente no solo. Esta técnica apresenta diversas vantagens, como a utilização de pedras locais de fácil obtenção e custo acessível, juntamente com a sua adaptabilidade para moldagem no local, o que permite acomodar as peculiaridades do terreno com eficácia.

Contudo, no método construtivo convencional, as paredes são sustentadas por uma viga baldrame para a transferência das cargas da alvenaria, que são então encaminhadas para os pilares e a fundação antes de chegar ao solo. A inovação nesse enfoque reside

no fato de que a viga se apoia diretamente nos pilares de fundação, e não na alvenaria de pedra argamassada. Ao optar pela construção com a alvenaria de pedra argamassada, onde a carga não é direcionada para os pilares, ocorre um alívio das cargas na fundação em comparação com o processo construtivo convencional.

Nesse contexto, se a capacidade de carga do solo for limitada, a ponto de tornar o volume de concreto na fundação altamente sensível a qualquer acréscimo de carga, a opção pela construção em alvenaria de pedra argamassada pode se tornar economicamente vantajosa. Isso se deve ao alívio significativo das cargas sobre a fundação proporcionado por essa abordagem.

Com base no exposto, este estudo tem como objetivo realizar uma análise minuciosa de viabilidade econômica dessas duas abordagens distintas. Para alcançar essa meta, será efetuada a modulação estrutural do projeto arquitetônico de uma edificação, incluindo o dimensionamento para ambos os tipos de fundações, levando em consideração a tensão admissível do solo em três cenários distintos. O cerne dessa análise reside na obtenção de informações acerca de custos, o que possibilitará a seleção da alternativa mais eficaz e economicamente viável.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo comparativo entre o vigamento convencional com sapatas isoladas e o sistema de pedra argamassada foi desenvolvido por meio de um projeto em alvenaria estrutural de uma edificação. Para a elaboração deste estudo, o ponto de partida envolveu uma revisão bibliográfica abrangente de normas regulamentadoras, bem como a análise de livros e artigos científicos relevantes, além do auxílio de programas computacionais, com o objetivo de obter o conhecimento essencial para sustentar o progresso deste projeto.

Com base nessas ponderações, o estudo foi estruturado em três fases distintas, que se descrevem da seguinte maneira:

**Definição e modulação estrutural do projeto arquitetônico:** A edificação escolhida levou em consideração 3 tipos de carregamentos na edificação. Dessa forma, foi realizada a modulação em blocos cerâmicos de alvenaria estrutural. A edificação possui aproximadamente 220 m<sup>2</sup>, contendo 4 apartamentos tipo. Cada apartamento possui em torno de 50 m<sup>2</sup>, contendo dois quartos, banheiro social, sala de estar, cozinha e lavanderia. A laje escolhida foi a treliçada TR8 com altura de 8 cm e capa de 4 cm. A modulação estrutural foi conduzida com a ajuda do software *AutoCad 2023*, com o propósito de integrar a arquitetura por meio de blocos cerâmicos de caráter estrutural. Este procedimento é essencial para estimar a quantidade de blocos estruturais necessários e a sua distribuição na construção.

**Levantamento de cargas e dimensionamento das fundações:** O levantamento de cargas se deu pela subdivisão da estrutura em conjuntos de paredes, conhecido por grupos. Cada grupo de parede é delimitado por aberturas, como portas ou janelas. Esse estudo é essencial para caracterizar a linha de influência e analisar como as cargas da laje fluem para cada grupo de parede, obtendo-se o valor das cargas para compressão simples. O dimensionamento das fundações levou em consideração a variação de 3 tipos de carregamentos e com a variação da tensão admissível do solo. Ao todo, a estrutura foi subdividida em 25 grupos. O dimensionamento das fundações se deu início por 2 tipos: viga baldrame com sapatas isoladas e fundação de pedra argamassada. O dimensionamento do tipo sapatas isoladas foi realizado por meio do software *TQS*. Para o dimensionamento do sistema de pedra argamassada, foi realizado por meio de fórmulas

normativas que estão presentes na NBR 6118/2023. É importante salientar que a tensão admissível do solo foi variada em três casos: para 2kgf/cm<sup>2</sup>, 3kgf/cm<sup>2</sup> e 4kgf/cm<sup>2</sup>.

**Comparativo de custos entre os dois tipos de fundações:** Após a conclusão do dimensionamento das fundações, prosseguiu-se com a elaboração e análise dos orçamentos para cada um dos tipos, levando em consideração dois bancos de dados, com o objetivo de identificar as diferenças e, por conseguinte, chegar a uma conclusão sobre a viabilidade econômica de ambas as alternativas.

## 2.1 Definição do projeto e modulação estrutural

Inicialmente, a estrutura selecionada para a análise consiste em um edifício de um único andar, composto por um pavimento tipo acrescido de uma cobertura. Posteriormente, foram adicionados mais pavimentos tipo a fim de aumentar a carga sobre as fundações. Dessa forma, o projeto arquitetônico contempla um pavimento tipo que abriga quatro unidades residenciais, conforme ilustrado na figura a seguir:

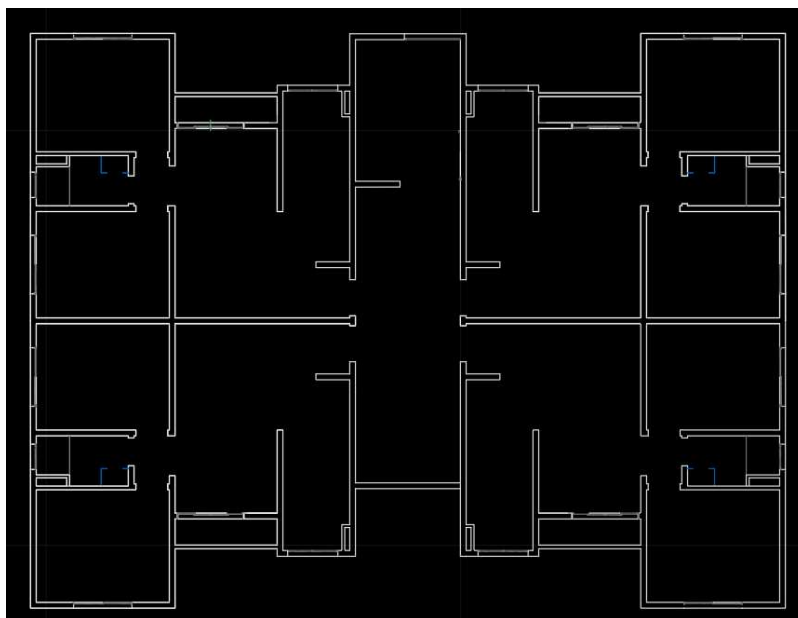


Figura 1- Arquitetura. (Fonte: Autoria própria, 2023)

A modulação estrutural foi conduzida com a ajuda do software *AutoCad 2023*, com o propósito de integrar a arquitetura por meio de blocos cerâmicos de caráter estrutural. Este procedimento é essencial para estimar a quantidade de blocos estruturais necessários e a sua distribuição na construção.

Além disso, permite a análise e o levantamento das cargas atuantes na edificação, uma vez que os blocos constituem a própria estrutura, viabilizando a posterior dimensionamento das fundações.

Na modulação, foram utilizados os blocos cerâmicos estruturais inteiros (14x19x29 cm), o bloco de amarração para encontros em T (14x19x44 cm), o meio bloco (14x19x14 cm) e o bloco compensador (14x19x4 cm). A figura a seguir ilustra a modulação estrutural sendo realizada.

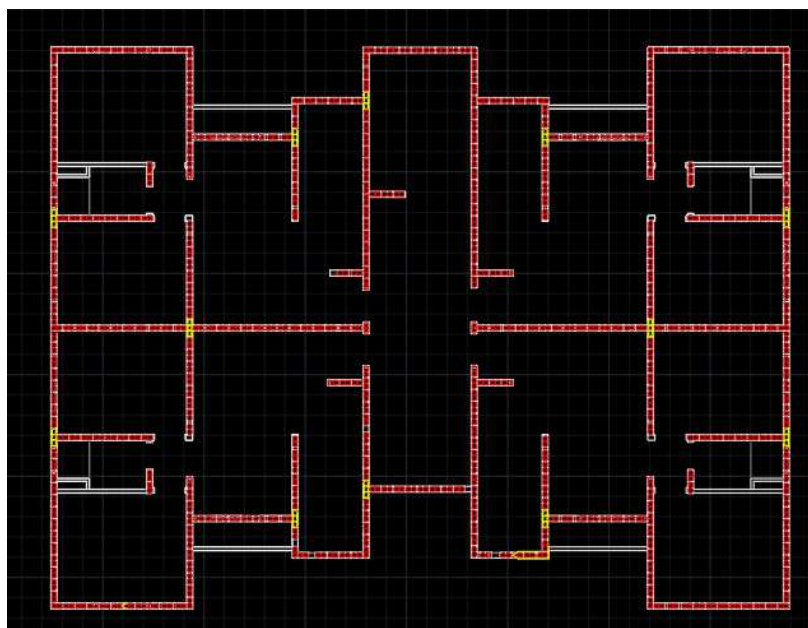


Figura 2- Modulação estrutural. (Fonte: Autoria própria, 2023)

Após finalizar o processo de modulação estrutural com a integração dos blocos cerâmicos, procedeu-se à subdivisão da estrutura em conjuntos de paredes, conhecido por grupos. Cada grupo de parede é delimitado por aberturas, como portas ou janelas. Esse estudo é essencial para caracterizar a linha de influência e analisar como as cargas da laje fluem para cada grupo de parede, obtendo-se o valor das cargas para compressão simples.

É importante salientar que, como o projeto se trata de uma edificação com pavimento tipo com 4 apartamentos, então devido a isso, alguns grupos e, conseqüentemente suas cargas, são necessariamente iguais a outros. Ao todo, a estrutura foi subdividida em 25 grupos. A figura a seguir mostra a segmentação dos grupos.



Figura 3- Subdivisão dos grupos. (Fonte: Autoria própria, 2023)

## 2.2 Dimensionamento das fundações

O dimensionamento das fundações se deu início por 2 tipos: viga baldrame com sapatas isoladas e fundação de pedra argamassada. A tensão admissível do solo foi variada em três casos: para 2kgf/cm<sup>2</sup>, 3kgf/cm<sup>2</sup> e 4kgf/cm<sup>2</sup>. Para o dimensionamento, foram levados em consideração 3 modelos de carregamentos e pavimentos:

- **Modelo 1:** 1 pavimento tipo + cobertura;
- **Modelo 2:** 2 pavimentos tipo + cobertura;
- **Modelo 3:** 3 pavimentos tipo + cobertura.

A imagem a seguir ilustra o formato dos modelos estudados:

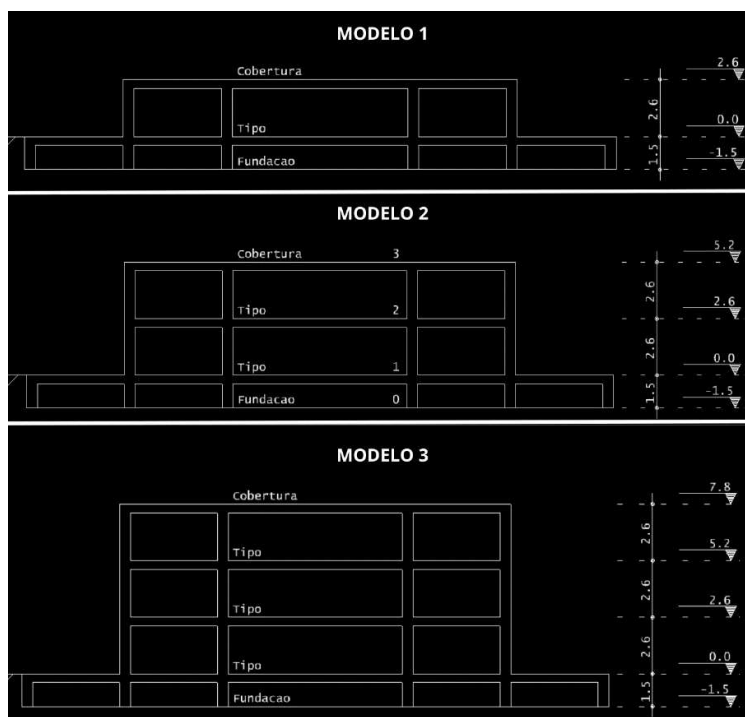


Figura 4- Modelos estruturais. (Fonte: Autoria própria, 2023)

### 2.2.1 Fundação em pedra argamassada

A análise e dimensionamento do sistema de alvenaria com argamassa foram conduzidos utilizando o método dos blocos, nos quais são empregados concretos simples ou ciclópicos, ou seja, sem armaduras, projetados de maneira a absorver as tensões de tração através do próprio concreto. Inicialmente, é crucial calcular as dimensões do bloco, para as quais foram aplicadas fórmulas normativas contidas na NBR 6118/2023 – Projeto de estruturas de concreto, que simplificaram a obtenção dos resultados desejados. Assim, o primeiro passo consistiu em determinar a base do bloco, seguindo a fórmula a seguir:

$$B = \frac{1,05 \times q}{\sigma_{adm} \times 100} \quad (1)$$

Onde:

B: base do bloco (cm);

q: valor da carga (kgf/cm<sup>2</sup>);

$\sigma_{adm}$ : tensão admissível do solo (kgf/cm<sup>2</sup>).

O resultado obtido deve ser observado para que, normativamente, o valor não possa ser inferior a 35 cm. Caso o valor obtido seja inferior, é recomendado utilizar o valor mínimo.

Posteriormente, calculou-se a altura do bloco, seguindo a fórmula abaixo:

$$H \geq 0,5 \times (B - b) \quad (2)$$

Onde:

H: altura do bloco (cm);

B: base do bloco adotada (cm);

b: largura do bloco estrutural (cm).

É importante analisar e verificar, pois, de acordo com a norma, o valor de H não pode ser maior que 50 cm, nem inferior a 80% de B.

Em seguida foi necessário o cálculo de tração a ser resistida pelo bloco. Desse modo, foi usada a seguinte fórmula:

$$Z = \frac{1,05 \times q \times (B - b)}{4 \times H} \quad (3)$$

Onde:

Z: tração resistida pelo bloco (kgf/cm<sup>2</sup>);

q: valor da carga (kgf/cm<sup>2</sup>);

B: base do bloco (cm);

b: largura do bloco estrutural (cm);

H: altura do bloco adotada (cm).

Com o valor da tração obtido, deu-se início ao cálculo da tensão de tração no concreto, a fim de verificar se toda a tração poderia ser resistida pelo bloco, sem a necessidade de adição de armaduras. Para isso, foi levado em consideração a fórmula abaixo:

$$\sigma_{ct} = \frac{Z}{H \times L} \quad (4)$$

Onde:

$\sigma_{ct}$ : tensão de tração no concreto (kgf/cm<sup>2</sup>);

Z: tração resistida pelo bloco (kgf/cm<sup>2</sup>);

H: altura do bloco (cm);

L: comprimento do bloco para cálculo (cm).

Vale salientar que, para que o valor da tensão de tração no concreto seja utilizado, existe uma condição a ser seguida, onde:

$$\sigma_{ct} < \frac{f_{ck}}{30} \quad (5)$$

Onde:

$\sigma_{ct}$ : tensão de tração no concreto (kgf/cm<sup>2</sup>);

$f_{ck}$ : resistência característica do concreto à compressão (kgf/cm<sup>2</sup>).

A resistência característica do concreto à compressão adotada foi de 120 kgf/cm<sup>2</sup>.

## 2.2.2 Fundação em sapatas isoladas

Conforme caracteriza REBELLO (2008), a sapata isolada é empregada em situações em que as cargas provenientes da superestrutura se apresentam de forma pontual ou concentrada, tais como as cargas provenientes de pilares e as reações provenientes de vigas na fundação, como é o caso das vigas baldrames. Após o dimensionamento da fundação em pedra argamassada, deu-se início ao dimensionamento do tipo de fundação em sapatas isoladas.

O procedimento de cálculo para as sapatas isoladas se deu a partir da caracterização e levantamento das informações sobre o projeto estrutural, a fim de obter uma maior aproximação com a realidade. O software escolhido foi o TQS V22 e sua configuração se baseia na NBR 6118 (ABNT, 2023).

Para o cálculo da geometria das sapatas isoladas, inicialmente é necessário determinar a área da sapata, a qual é calculada com base na carga aplicada e na capacidade de suporte do solo. Esse cálculo é realizado por meio da seguinte equação:

$$SSAP = \frac{P}{\sigma_s} \quad (6)$$

Onde:

SSAP: área da sapata;

P: carga sobre a sapata;

$\sigma_s$ : tensão admissível do solo.

É importante lembrar que a tensão admissível do solo foi variada para 3 casos: 2kgf/cm<sup>2</sup>, 3kgf/cm<sup>2</sup> e 4kgf/cm<sup>2</sup>. A figura a seguir representa as variáveis para o dimensionamento da sapata isolada.

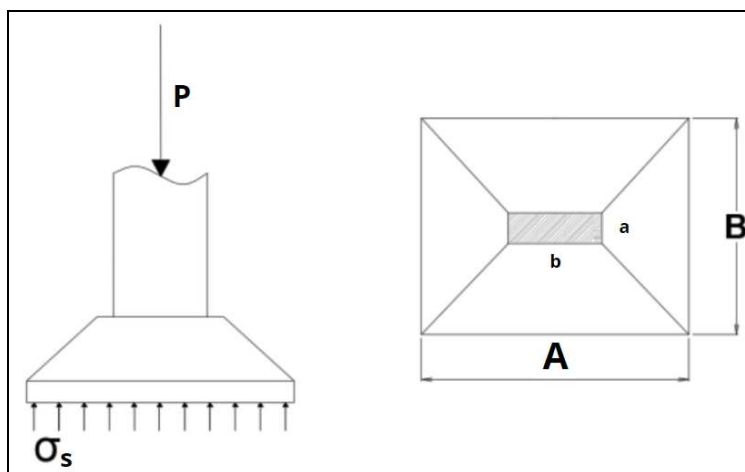


Figura 5- Dimensionamento de sapata isolada. (Fonte: Oliveira adaptada, 2023)

Se a sapata for quadrada,  $A = B$ . Com isso, tem-se a seguinte expressão:

$$A = B = \sqrt{SSAP} \quad (7)$$

Caso a sapata seja retangular (normalmente utilizada para pilares retangulares), para que a relação entre as dimensões **A** e **B** seja mais econômica, os momentos fletores em relação às faces **a** e **b** do pilar devem ser iguais. A imagem a seguir mostra o comportamento.

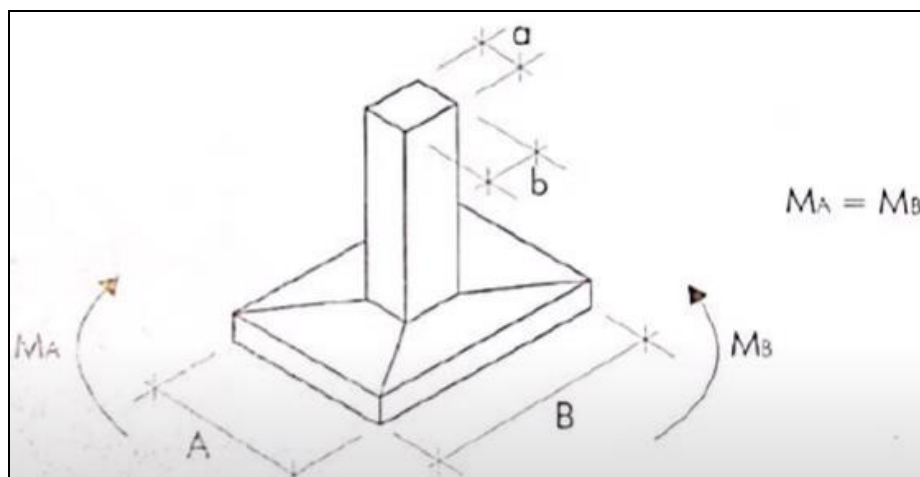


Figura 6- Dimensionamento de sapata isolada retangular. (Fonte: Rebello, 2008)

Dessa forma, para que os momentos fletores sejam iguais, é necessário que ocorram as seguintes formulações para que se tenha uma relação econômica:

$$A - B = a - b \quad (8)$$

$$SSAP = A \times B \quad (9)$$

Após esse procedimento, deve ser realizado o cálculo das seguintes relações:

$$B = \frac{(b - a)}{2} + \frac{\sqrt{(b - a)^2}}{4} + SSAP \quad (10)$$

$$A = \frac{SSAP}{B} \quad (11)$$

As sapatas possuem algumas restrições quanto às dimensões mínimas. Dessa forma, deve-se considerar, para os lados da sapata, uma dimensão mínima de 60 centímetros em pequenas construções. Para edifícios o valor mínimo pode variar de 80 centímetros a 1 metro.

## 2.3 Dados dos modelos

Todo o levantamento de cargas da estrutura foi realizado de acordo com as diretrizes da NBR 6120 da ABNT (2019) - Norma Brasileira de Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Com isso, foi possível categorizar as cargas consideradas no projeto em duas principais classes: as cargas permanentes e as cargas acidentais. Dessa forma, tanto no dimensionamento do sistema de pedra argamassada por meio de formulações normativas, quanto no dimensionamento de sapatas isoladas através do software TQS, foram realizados em estrita conformidade com as normas aplicáveis.

Além disso, foi considerado a classe de agressividade ambiental II,  $F_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ , cobrimento de 3 cm para pilares e vigas, e 4 cm para fundações.

### 2.3.1 Cargas permanentes

As cargas permanentes consistem nos valores relacionados ao peso intrínseco da estrutura, incluindo o peso dos revestimentos, acabamentos e também as cargas de



parede. No caso de estruturas construídas em alvenaria estrutural, a consideração do peso próprio engloba fatores como o comprimento total, altura, espessura das paredes e a densidade do material utilizado.

Para o peso dos materiais que constituirão a edificação, adotou-se os valores dos materiais conforme a regulamentação normativa. O peso específico da alvenaria considerado foi  $1200 \text{ kgf/m}^3$ . Com isso, levou-se em consideração a altura do pé direito de 2,60m, com 13 fiadas de blocos e espessura de 0,14m. Ademais, o peso específico do revestimento adotado foi  $2100 \text{ kgf/m}^3$  e a espessura do revestimento foi de 0,04m. Realizando os cálculos correspondentes, chegou-se ao valor do peso próprio de cada parede. A realização deste cálculo foi feita com o auxílio do programa computacional *Excel 2021*.

Após isso, deu-se início ao levantamento de cargas permanentes atuantes na laje. Considerando o peso próprio da laje treliçada sendo  $182 \text{ kgf/m}^2$  e o peso do revestimento  $100 \text{ kgf/m}^2$ , a carga permanente foi definida como o somatório dessas duas cargas. Dessa forma, a carga total permanente definida na laje foi de  $282 \text{ kgf/m}^2$ .

### 2.3.2 Cargas variáveis

As cargas variáveis ou sobrecargas de utilização, de acordo com a tabela 10 da NBR 6120 (ABNT, 2019) em edifícios residências estão descritas a seguir:

- $1,5 \text{ kN/m}^2$  para dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro;
- $2,0 \text{ kN/m}^2$  para dispensa, área de serviço e lavanderia;
- $1,0 \text{ kN/m}^2$  para coberturas com acesso apenas para manutenção ou inspeção.

A sobrecarga utilizada, de acordo com os cálculos, foi de  $150 \text{ kgf/m}^2$ . Portanto, a carga total que incide sobre a laje foi calculada somando a carga permanente total à sobrecarga de utilização, resultando em  $432 \text{ kgf/m}^2$ .

De modo análogo procedeu-se ao cálculo das cargas que incidem sobre a cobertura, mantendo o mesmo princípio. A única distinção reside no fato de que, de acordo com as diretrizes estabelecidas na NBR 6120 da ABNT (2019), o valor da carga acidental em coberturas sem acesso para pessoas é de  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .

## 2.4 Análise comparativa dos custos

Após o dimensionamento das duas opções de fundações, deu-se início à avaliação dos custos associados a cada um dos modelos. Nesse contexto, foram pesquisados em dois bancos de dados: SINAPI e SEINFRA-CE.

### 2.4.1 SINAPI

O SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil) é uma fonte de referência amplamente reconhecida para a elaboração de custos envolvendo a aquisição de materiais, equipamentos, serviços e mão de obra. Esses elementos desempenham um papel fundamental na composição dos orçamentos de projetos de construção (CAIXA, 2019).

Em suma, esse sistema fornece informações sobre os custos associados à construção civil, abrangendo materiais, equipamentos, serviços e mão de obra. Esses

dados permitem calcular os custos envolvidos na execução de projetos de construção, sendo uma ferramenta valiosa para orçamentação e planejamento de obras.

Desse modo, o levantamento de custos dos materiais e serviços levou em consideração o mês de julho de 2023.

## 2.4.2 SEINFRA CE

A Secretaria da Infraestrutura (SEINFRA) do Estado do Ceará tem como propósito definir metas, orientações e estratégias para os setores de transporte, logística, obras, mobilidade, acessibilidade urbana, trânsito, telecomunicações, energia e gás canalizado, as quais devem ser seguidas pelos diversos órgãos e entidades estaduais. Nesse contexto, foram obtidos dados quantitativos a partir de seus bancos de dados para servirem como base na elaboração de uma estrutura de precificação.

Posteriormente, essas informações foram compiladas e organizadas em uma tabela de custos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção do trabalho são apresentados os dados coligidos e tabulados da pesquisa, acompanhados de uma análise das suas implicações e da interpretação coerente e satisfatória da problemática. Em uma pesquisa quantitativa, os resultados geralmente são tratados estatisticamente (usa-se números, tabelas e/ou gráficos). A análise ou discussão, em geral, apoiar-se-á no confronto dos resultados com respostas concludentes e definitivas de obras consolidadas.

### 3.1 Dimensões resultantes das fundações

#### 3.1.1 Sistema de pedra argamassada

Por meio do dimensionamento dos blocos em pedra argamassada e variando a tensão admissível do solo para os valores de 2 kgf/cm<sup>2</sup>, 3 kgf/cm<sup>2</sup> e 4 kgf/cm<sup>2</sup>, foi possível obter as dimensões dos blocos.

A Tabela 01 representa os resultados obtidos das dimensões de base e altura do bloco, considerando a tensão admissível do solo igual a 2kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 01- Geometria do bloco para tensão admissível igual a 2kgf/cm<sup>2</sup>.

<b>GEOMETRIA DO BLOCO PARA TENSÃO ADMISSÍVEL 2 Kgf/cm<sup>2</sup></b>		
<b>GRUPOS</b>	<b>BASE (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>
<b>G1 / G9 / G14 / G21</b>	9,09	13
<b>G2</b>	8,37	13
<b>G3 / G10 / G12 / G22</b>	7,54	13
<b>G4 / G7 / G16 / G19</b>	12,67	13
<b>G5</b>	10,11	13
<b>G6</b>	10,64	13
<b>G8 / G15 / G20</b>	12,12	13
<b>G11 / G13 / G23 / G25</b>	14,94	13
<b>G17</b>	8,94	13
<b>G18 / G24</b>	10,68	13

Fonte: Autoria própria, 2023.

De modo análogo, a Tabela 02 apresenta os valores obtidos para geometria do bloco. Dessa vez, para 3kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 02- Geometria do bloco para tensão admissível igual a 3kgf/cm<sup>2</sup>.

<b>GEOMETRIA DO BLOCO PARA TENSÃO ADMISSÍVEL 3 Kgf/cm<sup>2</sup></b>		
<b>GRUPOS</b>	<b>BASE (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>
<b>G1 / G9 / G14 / G21</b>	6,06	13
<b>G2</b>	5,58	13
<b>G3 / G10 / G12 / G22</b>	5,03	13
<b>G4 / G7 / G16 / G19</b>	8,45	13
<b>G5</b>	6,74	13
<b>G6</b>	7,09	13
<b>G8 / G15 / G20</b>	8,08	13
<b>G11 / G13 / G23 / G25</b>	9,96	13
<b>G17</b>	5,96	13
<b>G18 / G24</b>	7,12	13

Fonte: Autoria própria, 2023.

Posteriormente, foi calculado as dimensões do bloco para tensão admissível igual a 4kgf/cm<sup>2</sup>. Os resultados estão ilustrados na Tabela 03.

Tabela 03- Geometria do bloco para tensão admissível igual a 4kgf/cm<sup>2</sup>.

<b>GEOMETRIA DO BLOCO PARA TENSÃO ADMISSÍVEL 4 Kgf/cm<sup>2</sup></b>		
<b>GRUPOS</b>	<b>BASE (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>
<b>G1 / G9 / G14 / G21</b>	4,54	13
<b>G2</b>	4,19	13
<b>G3 / G10 / G12 / G22</b>	3,77	13
<b>G4 / G7 / G16 / G19</b>	6,34	13
<b>G5</b>	5,06	13
<b>G6</b>	5,32	13
<b>G8 / G15 / G20</b>	6,06	13
<b>G11 / G13 / G23 / G25</b>	7,47	13
<b>G17</b>	4,47	13
<b>G18 / G24</b>	5,34	13

Fonte: Autoria própria, 2023.

Após a análise, constatou-se que, apesar da variação da tensão admissível do solo, as dimensões dos blocos permaneceram quase que constantes. Além disso, observou-se que os valores obtidos ficaram aquém do mínimo requerido, tanto em termos de largura da base, quanto de altura, visto que o valor da base não pode ser menor que 35 cm e a altura deve ser maior que 50 cm ou superior a 80% da base.

Portanto, optou-se por adotar valores aproximados aos mínimos, como indicado na Tabela 04.

Tabela 04- Valores adotados para o sistema de pedra argamassada.

VALORES ADOTADOS		
GRUPOS	BASE (cm)	ALTURA (cm)
G1 / G9 / G14 / G21	40	60
G2	40	60
G3 / G10 / G12 / G22	40	60
G4 / G7 / G16 / G19	40	60
G5	40	60
G6	40	60
G8 / G15 / G20	40	60
G11 / G13 / G23 / G25	40	60
G17	40	60
G18 / G24	40	60

Fonte: Autoria própria, 2023.

Em seguida, procedeu-se ao cálculo da capacidade de absorção de tração pelo bloco. Esse cálculo visa determinar se o bloco pode resistir à tração sem a necessidade de reforço com armadura. A Tabela 05 ilustra os resultados obtidos.

Tabela 05- Resultados dos valores da tração resistida pelo bloco.

VALORES DE TRAÇÃO E TENSÃO RESISTIDAS PELO BLOCO			
GRUPOS	TRAÇÃO A SER RESISTIDA PELO BLOCO (Kgf)	TENSÃO DE TRAÇÃO NO CONCRETO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	CONDIÇÃO DA TENSÃO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
G1 / G9 / G14 / G21	196,90	0,033	4
G2	181,43	0,030	4
G3 / G10 / G12 / G22	163,35	0,027	4
G4 / G7 / G16 / G19	274,59	0,046	4
G5	219,08	0,037	4
G6	230,46	0,038	4
G8 / G15 / G20	262,65	0,044	4
G11 / G13 / G23 / G25	323,73	0,054	4
G17	193,72	0,032	4
G18 / G24	231,48	0,039	4

Fonte: Autoria própria, 2023.

Com base nos resultados obtidos e na análise dos dados, pode-se concluir que a tensão de tração no concreto atende aos critérios de segurança. Isso significa que, nesse dimensionamento, não houve necessidade de adicionar armadura para resistir à tração, pois o bloco por si só foi capaz de suportá-la.

### 3.1.2 Sapatas isoladas

O dimensionamento das sapatas isoladas foi conduzido com o auxílio do software TQS. Nesse processo, foram realizados todos os levantamentos de cargas e configurações necessárias para viabilizar o dimensionamento e, em seguida, extrair os quantitativos. A imagem a seguir representa o dimensionamento das fundações sendo realizado.

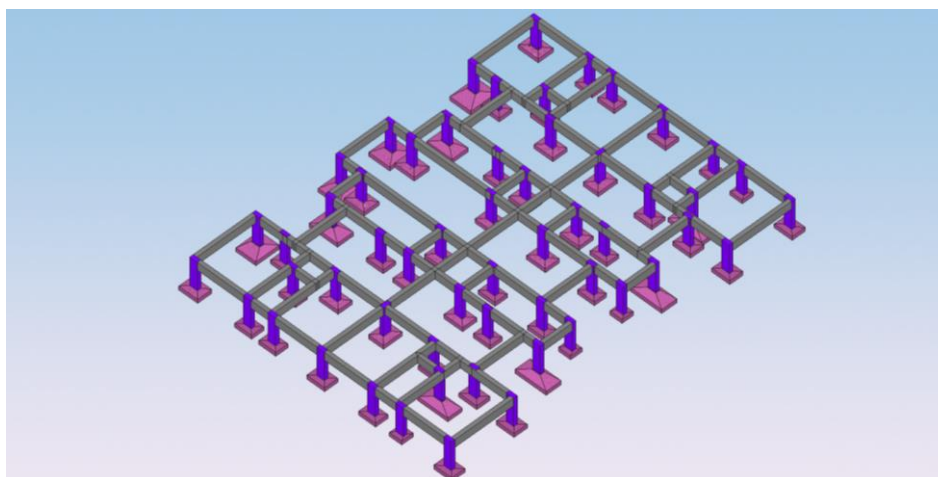


Figura 7- Dimensionamento das fundações em sapatas isoladas pelo TQS. (Fonte: Autoria própria, 2023)

### 3.2 Quantitativos

Após a conclusão do projeto estrutural, os quantitativos dos materiais do pavimento térreo foram extraídos com o propósito de realizar uma análise em torno da tensão admissível do solo. Dessa forma, foram inseridos nas tabelas seguintes os dados dos materiais utilizados para a confecção dos dois sistemas construtivos, levando em consideração o banco de dados do SINAPI e SEINFRA-CE.

Vale salientar que, para evitar uma grande repetição das tabelas, foi optado por mostrar somente o detalhamento para o modelo 1. Entretanto, os custos totais dos modelos 2 e 3 estarão representados graficamente posteriormente.

#### 3.2.1 Fundação em sapatas isoladas - SINAPI

Os quantitativos dos três modelos estudados foram inseridos e organizados em tabelas com o intuito de verificar os custos. Inicialmente, as sapatas foram projetadas considerando uma tensão admissível de 2 kgf/cm<sup>2</sup>. Posteriormente, essa métrica foi ajustada para 3 kgf/cm<sup>2</sup> e, por fim, para 4 kgf/cm<sup>2</sup>.

As tabelas seguintes ilustram os resultados do modelo 1.

Tabela 06- Quantitativo dos materiais para tensão admissível igual a 2 kgf/cm<sup>2</sup>.

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - SAPATAS ISOLADAS - TENSÃO ADMISSÍVEL 2 Kgf/cm <sup>2</sup>						
ITEM	CÓDIGO SINAPI	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
<b>PAVIMENTO TÉRREO</b>						<b>R\$ 76.153,48</b>
<b>1.</b>	<b>PILARES</b>					<b>R\$ 17.529,97</b>
1.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	6,16	466,05	R\$ 2.870,87
1.2	92263	Fabricação de fôrmas para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. Af_09/2020	M2	95,58	153,37	R\$ 14.659,10
<b>2.</b>	<b>VIGAS</b>					<b>R\$ 22.268,08</b>
2.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	12,75	466,05	R\$ 5.942,14

**Análise da Viabilidade Econômica entre a Viga Baldrame e o Sistema de Pedra Argamassada na Alvenaria Estrutural**

José Higor Pereira de Andrade

2.2	92265	Fabricação de fôrmas para vigas, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. Af_09/2020	M2	165,46	98,67	R\$	16.325,94
<b>3.</b>	<b>SAPATAS</b>						<b>R\$ 14.240,08</b>
3.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	13,38	466,05	R\$	6.235,75
3.2	96532	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em madeira serrada, e = 25 mm, 2 utilizações. Af_06/2017	M2	41,98	190,67	R\$	8.004,33
<b>4.</b>	<b>ARMADURAS</b>						<b>R\$ 22.115,36</b>
4.1	92759	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	188	13,7	R\$	2.575,60
4.2	92760	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_06/2022	KG	219	13,41	R\$	2.936,79
4.3	92762	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	1080	11,73	R\$	12.668,40
4.4	92763	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_06/2022	KG	105	9,99	R\$	1.048,95
4.5	92761	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	223	12,94	R\$	2.885,62

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 07- Quantitativo dos materiais para tensão admissível igual a 3 kgf/cm<sup>2</sup>.

<b>LEVANTAMENTO DE CUSTOS - SAPATAS ISOLADAS - TENSÃO ADMISSÍVEL 3 Kgf/cm<sup>2</sup></b>							
ITEM	CÓDIGO SINAPI	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO		VALOR TOTAL
<b>PAVIMENTO TÉRREO</b>							<b>R\$ 75.083,82</b>
<b>1.</b>	<b>PILARES</b>						<b>R\$ 17.529,97</b>
1.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	6,16	466,05	R\$	2.870,87
1.2	92263	Fabricação de fôrmas para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. Af_09/2020	M2	95,58	153,37	R\$	14.659,10
<b>2.</b>	<b>VIGAS</b>						<b>R\$ 22.268,08</b>
2.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	12,75	466,05	R\$	5.942,14
2.2	92265	Fabricação de fôrmas para vigas, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. Af_09/2020	M2	165,46	98,67	R\$	16.325,94

**Análise da Viabilidade Econômica entre a Viga Baldrame e o Sistema de Pedra Argamassada na Alvenaria Estrutural**

José Higor Pereira de Andrade

<b>3.</b>		<b>SAPATAS</b>					<b>R\$ 13.812,57</b>
3.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	12,7	466,05	R\$	5.918,84
3.2	96532	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em madeira serrada, e = 25 mm, 2 utilizações. Af_06/2017	M2	41,4	190,67	R\$	7.893,74
<b>4.</b>		<b>ARMADURAS</b>					<b>R\$ 21.473,20</b>
4.1	92759	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	188	13,7	R\$	2.575,60
4.2	92760	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_06/2022	KG	219	13,41	R\$	2.936,79
4.3	92762	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	1076	11,73	R\$	12.621,48
4.4	92763	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_06/2022	KG	105	9,99	R\$	1.048,95
4.5	92761	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	177	12,94	R\$	2.290,38

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 08- Quantitativo dos materiais para tensão admissível igual a 4 kgf/cm<sup>2</sup>.

<b>LEVANTAMENTO DE CUSTOS - SAPATAS ISOLADAS - TENSÃO ADMISSÍVEL 4 Kgf/cm<sup>2</sup></b>						
<b>ITEM</b>	<b>CÓDIGO SINAPI</b>	<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>UN.</b>	<b>QUANT.</b>	<b>PREÇO UNITÁRIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>PAVIMENTO TÉRREO</b>						<b>R\$ 74.985,61</b>
<b>1.</b>	<b>PILARES</b>					<b>R\$ 17.529,97</b>
1.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	6,16	466,05	R\$ 2.870,87
1.2	92263	Fabricação de fôrmas para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. Af_09/2020	M2	95,58	153,37	R\$ 14.659,10
<b>2.</b>	<b>VIGAS</b>					<b>R\$ 22.268,08</b>
2.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	12,75	466,05	R\$ 5.942,14
2.2	92265	Fabricação de fôrmas para vigas, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm. Af_09/2020	M2	165,46	98,67	R\$ 16.325,94
<b>3.</b>	<b>SAPATAS</b>					<b>R\$ 13.387,61</b>

3.1	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	12,23	466,05	R\$	5.699,79	
3.2	96532	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em madeira serrada, e = 25 mm, 2 utilizações. Af_06/2017	M2	40,32	190,67	R\$	7.687,81	
<b>4.</b>	<b>ARMADURAS</b>						<b>R\$</b>	<b>21.799,96</b>
4.1	92759	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	188	13,7	R\$	2.575,60	
4.2	92760	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 6,3 mm - montagem. Af_06/2022	KG	219	13,41	R\$	2.936,79	
4.3	92762	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	1078	11,73	R\$	12.644,94	
4.4	92763	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 12,5 mm - montagem. Af_06/2022	KG	101	9,99	R\$	1.008,99	
4.5	92761	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 8,00 mm - montagem. Af_06/2022	KG	204	12,91	R\$	2.633,64	

Fonte: Autoria própria, 2023.

### 3.2.2 Fundação em pedra argamassada - SINAPI

A despeito das alterações na tensão admissível do solo, manteve-se inalterado o dimensionamento da fundação em pedra argamassada. Dessa forma, em todos os modelos estudados, levando em consideração as tensões admissíveis utilizadas, o custo dessa fundação permaneceu constante. Essa constância reflete-se no resultado apresentado na Tabela 09.

Tabela 09- Quantitativo dos materiais para tensão admissível de 2, 3 e 4kgf/cm<sup>2</sup>.

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - ALVENARIA DE PEDRA ARGAMASSADA - TENSÃO ADMISSÍVEL 2, 3 e 4 Kgf/cm <sup>2</sup>								
ITEM	CÓDIGO SINAPI	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL		
<b>1.</b>	<b>FUNDAÇÃO EM PEDRA ARGAMASSADA</b>						<b>R\$</b>	<b>34.971,92</b>
1.1	102487	Concreto ciclópico fck = 15 Mpa, 30% pedra de mão em volume real, inclusive lançamento. Af_05/2021	M3	39,18	519,2	R\$	20.342,26	
1.2	94965	Concreto fck = 25 Mpa, traço 1:2, 3:2, 7 (cimento/ areia média / brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400L. Af_05/2021	M3	5,89	466,05	R\$	2.745,03	



1.3	92761	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 8,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	66,36	12,94	R\$	858,70
1.4	92759	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-60 de 5,0 mm - montagem. Af_06/2022	KG	81,77	13,7	R\$	1.120,25
1.5	96533	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga baldrame, em madeira serrada, e = 25 mm, 2 utilizações. Af_06/2017	M2	97,95	101,13	R\$	9.905,68

Fonte: Autoria própria, 2023.

### 3.2.3 Fundação em sapatas isoladas – SEINFRA/CE

Tabela 10- Quantitativo dos materiais para tensão admissível igual a 2 kgf/cm<sup>2</sup>.

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - SAPATAS ISOLADAS - TENSÃO ADMISSÍVEL 2 Kgf/cm <sup>2</sup>							
ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
<b>PAVIMENTO TÉRREO</b>						<b>R\$</b>	<b>80.654,08</b>
<b>1.</b>	<b>PILARES</b>					<b>R\$</b>	<b>19.243,64</b>
1.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	6,04	545,53	R\$	3.295,00
1.2	C1401	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ superestrutura - util. 2x	M2	93,81	170,01	R\$	15.948,64
<b>2.</b>	<b>VIGAS</b>					<b>R\$</b>	<b>35.161,23</b>
2.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	12,78	545,53	R\$	6.971,87
2.2	C1401	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ superestrutura - util. 2x	M2	165,81	170,01	R\$	28.189,36
<b>3.</b>	<b>SAPATAS</b>					<b>R\$</b>	<b>8.679,75</b>
3.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	10,09	545,53	R\$	5.504,40
3.2	C1400	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ fundações util. 5x	M2	37,96	83,65	R\$	3.175,35
<b>4.</b>	<b>ARMADURAS</b>					<b>R\$</b>	<b>17.569,46</b>
4.1	C0217	Armadura ca-60 fina D = 3,40 a 6,40 mm	KG	157	12,42	R\$	1.949,94
4.2	C0216	Armadura ca-50a média D = 6,3 mm.	KG	227	12,33	R\$	2.798,91
4.3	C0216	Armadura ca-50a média D = 10 mm.	KG	947	12,33	R\$	11.676,51
4.4	C0215	Armadura ca-50a grossa D = 12,5 mm.	KG	67	13,46	R\$	901,82

4.5	C0215	Armadura ca-50a grossa D = 16,0 mm.	KG	18	13,46	R\$	242,28
-----	-------	--	----	----	-------	-----	--------

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 11- Quantitativo dos materiais para tensão admissível igual a 3 kgf/cm<sup>2</sup>.

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - SAPATAS ISOLADAS - TENSÃO ADMISSÍVEL 3 Kgf/cm <sup>2</sup>								
ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO		VALOR TOTAL	
						<b>R\$</b>	<b>78.975,20</b>	
<b>PAVIMENTO TÉRREO</b>								
<b>1.</b>	<b>PILARES</b>						<b>R\$</b>	<b>19.243,64</b>
1.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	6,04	545,53	R\$	3.295,00	
1.2	C1401	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ superestrutura - util. 2x	M2	93,81	170,01	R\$	15.948,64	
<b>2. VIGAS</b>						<b>R\$</b>	<b>35.161,23</b>	
2.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	12,78	545,53	R\$	6.971,87	
2.2	C1401	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ superestrutura - util. 2x	M2	165,81	170,01	R\$	28.189,36	
<b>3. SAPATAS</b>						<b>R\$</b>	<b>7.074,94</b>	
3.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	7,78	545,53	R\$	4.244,22	
3.2	C1400	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ fundações util. 5x	M2	33,84	83,65	R\$	2.830,72	
<b>4. ARMADURAS</b>						<b>R\$</b>	<b>17.495,39</b>	
4.1	C0217	Armadura ca-60 fina D = 3,40 a 6,40 mm	KG	156	12,42	R\$	1.937,52	
4.2	C0216	Armadura ca-50a média D = 6,3 mm.	KG	227	12,33	R\$	2.798,91	
4.3	C0216	Armadura ca-50a média D = 10 mm.	KG	942	12,33	R\$	11.614,86	
4.4	C0215	Armadura ca-50a grossa D = 12,5 mm.	KG	67	13,46	R\$	901,82	
4.5	C0215	Armadura ca-50a grossa D = 16,0 mm.	KG	18	13,46	R\$	242,28	

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 12- Quantitativo dos materiais para tensão admissível igual a 4 kgf/cm<sup>2</sup>.

LEVANTAMENTO DE CUSTOS - SAPATAS ISOLADAS - TENSÃO ADMISSÍVEL 4 Kgf/cm <sup>2</sup>								
ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO		VALOR TOTAL	
						<b>R\$</b>	<b>78.310,74</b>	
<b>PAVIMENTO TÉRREO</b>								
<b>1.</b>	<b>PILARES</b>						<b>R\$</b>	<b>19.243,64</b>
1.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	6,04	545,53	R\$	3.295,00	

1.2	C1401	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ superestrutura - util. 2x	M2	93,81	170,01	R\$	15.948,64
<b>2.</b>	<b>VIGAS</b>					<b>R\$</b>	<b>35.161,23</b>
2.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	12,78	545,53	R\$	6.971,87
2.2	C1401	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ superestrutura - util. 2x	M2	165,81	170,01	R\$	28.189,36
<b>3.</b>	<b>SAPATAS</b>					<b>R\$</b>	<b>6.410,48</b>
3.1	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	6,93	545,53	R\$	3.780,52
3.2	C1400	Fôrma de tábuas de 1" de 3A. p/ fundações util. 5x	M2	31,44	83,65	R\$	2.629,96
<b>4.</b>	<b>ARMADURAS</b>					<b>R\$</b>	<b>17.495,39</b>
4.1	C0217	Armadura ca-60 fina D = 3,40 a 6,40 mm	KG	156	12,42	R\$	1.937,52
4.2	C0216	Armadura ca-50a média D = 6,3 mm.	KG	227	12,33	R\$	2.798,91
4.3	C0216	Armadura ca-50a média D = 10 mm.	KG	942	12,33	R\$	11.614,86
4.4	C0215	Armadura ca-50a grossa D = 12,5 mm.	KG	67	13,46	R\$	901,82
4.5	C0215	Armadura ca-50a grossa D = 16,0 mm.	KG	18	13,46	R\$	242,28

Fonte: Autoria própria, 2023.

### 3.2.4 Fundação em pedra argamassada – SEINFRA/CE

De maneira similar, em todos os modelos analisados e considerando as tensões admissíveis empregadas, o custo da fundação manteve-se inalterado. Essa estabilidade é evidenciada pelos dados apresentados na Tabela 11.

Tabela 13- Quantitativo dos materiais para tensão admissível igual a 2, 3 e 4 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### LEVANTAMENTO DE CUSTOS - ALVENARIA DE PEDRA ARGAMASSADA - TENSÃO ADMISSÍVEL 2, 3 e 4 Kgf/cm<sup>2</sup>

ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO		VALOR TOTAL
<b>1.</b>		<b>FUNDAÇÃO EM PEDRA ARGAMASSADA</b>				<b>R\$</b>	<b>39.188,09</b>
1.1	C0830	Concreto ciclópico fck = 15 Mpa com agregado adquirido.	M3	39,18	653,55	R\$	25.606,09
1.2	C4282	Forma para concreto "in loco" (aplicação).	M2	97,95	95,49	R\$	9.353,25
1.3	C0843	Concreto p/ vibr., 25 Mpa com agregado adquirido.	M3	5,89	545,53	R\$	3.213,17
1.4	C0217	Armadura ca-60 fina D = 3,40 a 6,40 mm	KG	81,77	12,42	R\$	1.015,58

Fonte: Autoria própria, 2023.

### 3.3 Comparação das soluções obtidas

Ao realizar uma análise comparativa entre os dois modelos de fundações, evidenciou-se uma discrepância notável. Mesmo diante da oscilação na tensão admissível e a utilização dos três modelos estruturais, observou-se que, do ponto de vista econômico, a opção pela fundação em pedra argamassada revelou-se mais vantajosa nos três modelos estudados em relação ao sistema de sapatas isoladas.

Essa conclusão está representada de maneira gráfica nas ilustrações seguintes:

#### 3.3.1 Comparativo dos custos SINAPI

Primeiramente, elaborou-se um gráfico comparativo dos custos entre o sistema de fundação em pedra argamassada e em sapatas isoladas, conforme o modelo estrutural 1 (1 tipo + cobertura), com base no banco de dados do SINAPI. Esse comparativo está exposto na Figura 7.

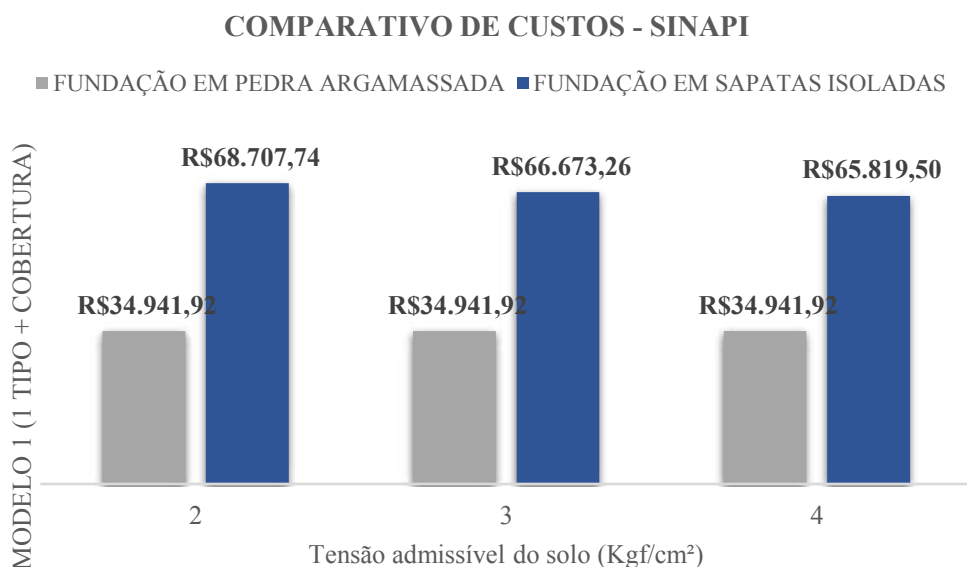


Figura 7- Comparativo dos custos para o modelo 1 com base no SINAPI. (Fonte: Autoria própria, 2023)

Posteriormente, foi exposto na Figura 8 o comparativo de custos, levando em consideração o modelo 2 (2 tipos + cobertura).

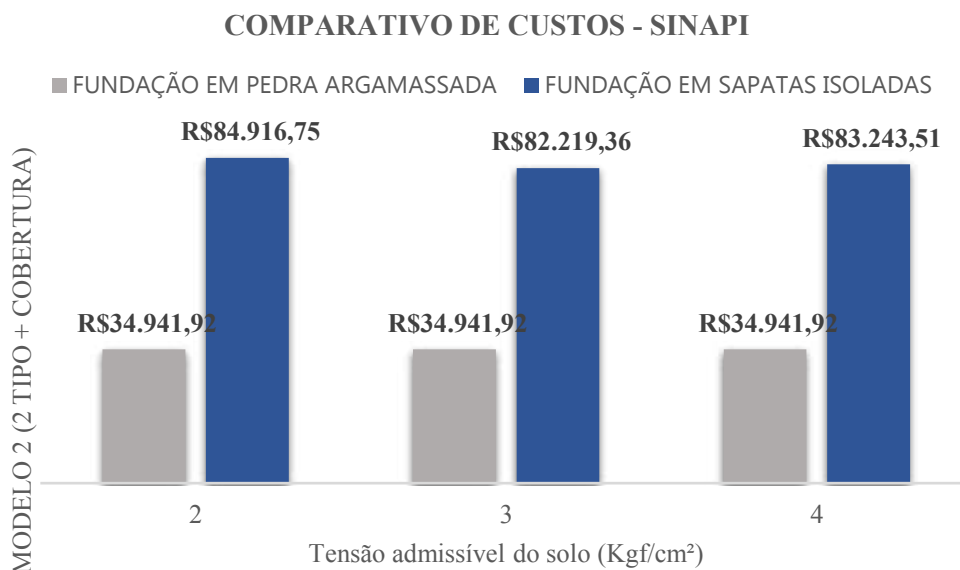


Figura 8- Comparativo dos custos para o modelo 2 com base no SINAPI. (Fonte: Autoria própria, 2023)

Por último, utilizando as informações do banco de dados do SINAPI, representou-se, a seguir, a comparação de custos associada ao modelo 3 (3 tipos + cobertura). Os resultados são visíveis na Figura 9.

Figura 9- Comparativo dos custos para o modelo 3 com base no SINAPI.

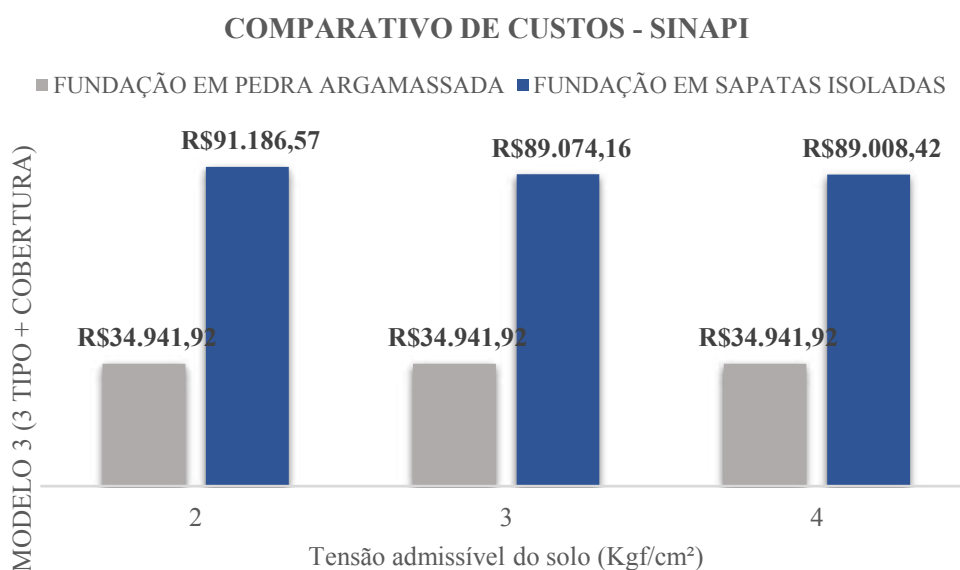


Figura 9- Comparativo dos custos para o modelo 3 com base no SINAPI. (Fonte: Autoria própria, 2023)

### 3.3.2 Comparativo dos custos SEINFRA/CE

A mesma abordagem foi aplicada, contudo, utilizando os dados do SEINFRA-CE. Para o modelo 1 (1 tipo + cobertura), a representação é espelhada na Figura 10.

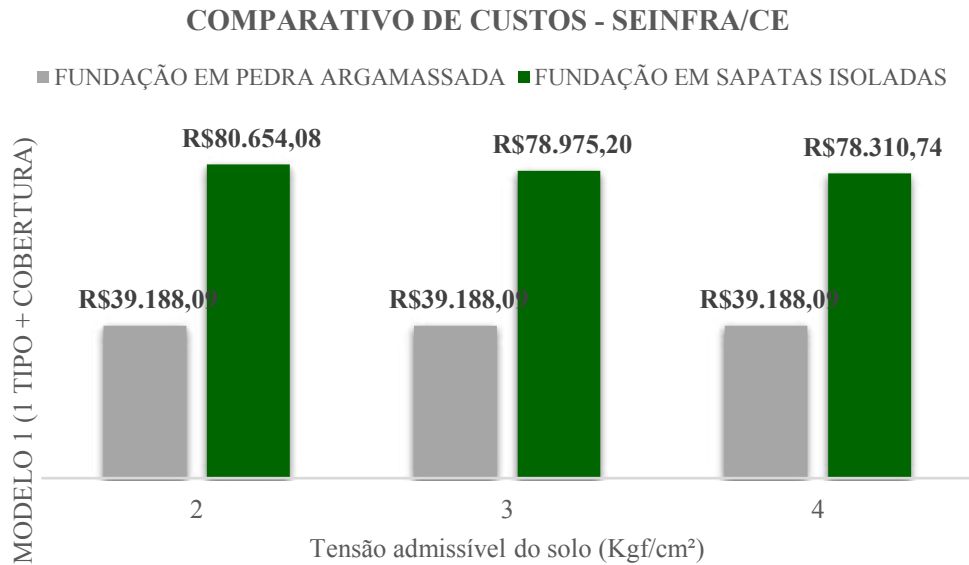


Figura 10- Comparativo dos custos para o modelo 1 com base no SEINFRA/CE. (Fonte: Autoria própria, 2023)

De modo análogo, a Figura 11 representa o comparativo de custos de acordo com o modelo 2 (2 tipos + cobertura).

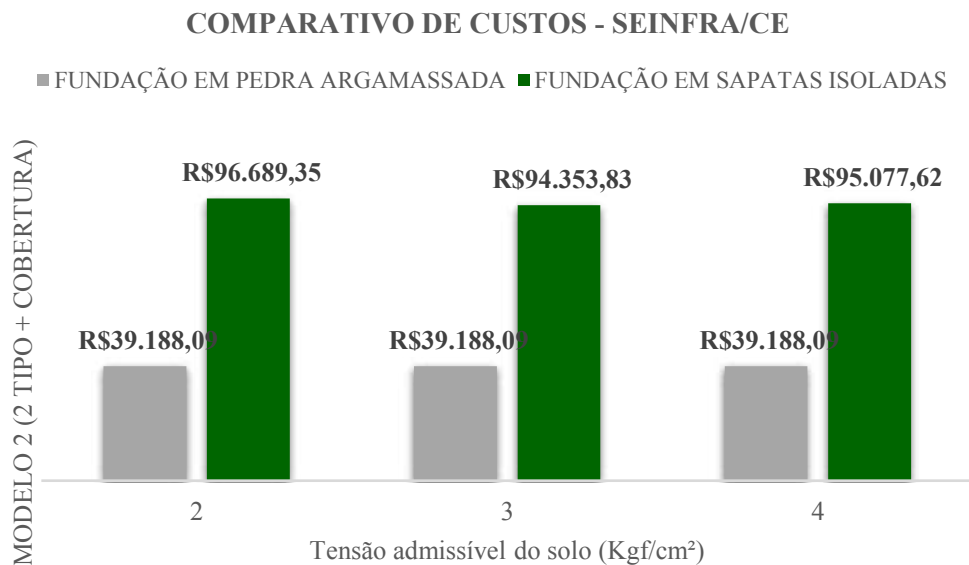


Figura 11- Comparativo dos custos para o modelo 2 com base no SEINFRA/CE. (Fonte: Autoria própria, 2023.)

Por último, no que tange ao modelo 3 (3 tipos + cobertura), a representação visual está alinhada com a Figura 12.

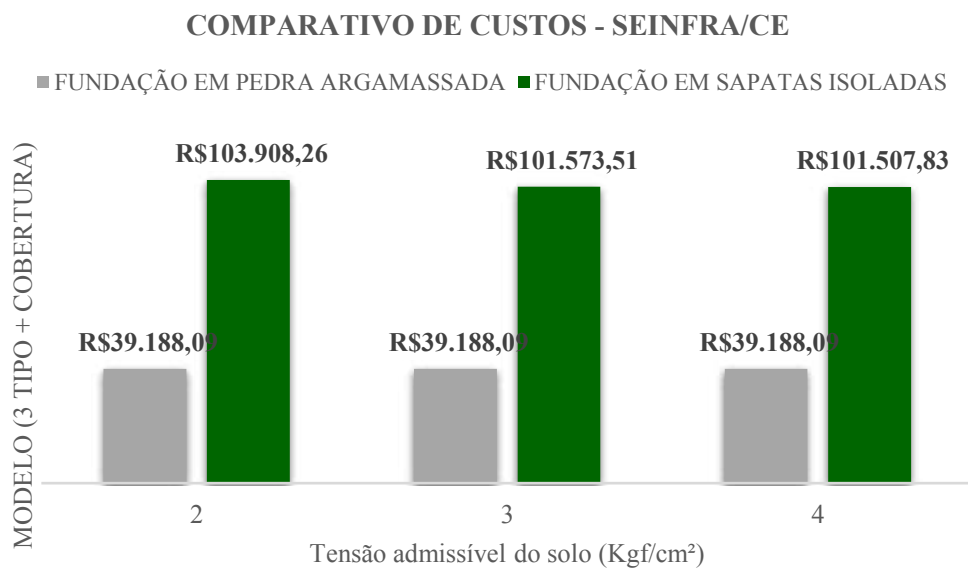


Figura 12- Comparativo dos custos para o modelo 3 com base no SEINFRA/CE. (Fonte: Autoria própria, 2023)

Considerando as informações apresentadas, fica claro que os custos relacionados às sapatas isoladas são substancialmente superiores em todos os três cenários, que englobam, além dos três modelos estudados, variações na tensão admissível do solo. Essa constatação é válida tanto ao se analisar os dados do banco do SINAPI quanto do SEINFRA-CE.

Adicionalmente, em diversas situações, mesmo diante da variação da tensão admissível do solo, o custo associado ao sistema de pedra argamassada pode permanecer inalterado, o que não ocorre com o sistema convencional. Em comparação, é notório que o dispêndio necessário para a fundação em alvenaria de pedra argamassada é significativamente mais vantajoso.

No entanto, devido à falta de compreensão e possivelmente a alguma hesitação, esse procedimento não é tão amplamente empregado como seria aconselhável, apesar de suas vantagens evidentes.

#### 4. CONCLUSÕES

A comparação entre dois tipos de fundação, com o objetivo de identificar a opção mais econômica, é crucial para o sucesso e a viabilidade financeira de um projeto de construção. Este processo permite uma avaliação criteriosa dos custos associados a cada sistema, possibilitando a escolha da fundação mais eficiente em termos econômicos. Uma fundação bem selecionada não só assegura a segurança da edificação, mas também impacta diretamente nos custos, destacando, assim, a importância estratégica dessa decisão para o sucesso do projeto de alvenaria estrutural. Com isso, a pesquisa teve como objetivo a obtenção de custos acerca de uma análise comparativa entre dois tipos de fundações: fundação de pedra argamassada e vigamento convencional com sapatas isoladas.

A análise dos resultados revelou que o sistema de alvenaria de pedra argamassada apresenta uma economia substancial quando comparado ao método convencional com sapatas isoladas. Este achado ressalta a relevância dos estudos dedicados aos custos em projetos de construção, uma vez que constituem uma fundação essencial para embasar uma edificação eficaz e economicamente viável.

Para alcançar essa conclusão, foram plenamente atendidos os objetivos específicos, incluindo a modulação estrutural e a análise de cargas. Esse procedimento foi importante para quantificar os valores das cargas que estavam atuando no projeto.

Adicionalmente, a determinação das dimensões das fundações, tanto para as sapatas isoladas utilizando o software *TQS* quanto para a alvenaria de pedra argamassada através do método de blocos, revelou-se fundamental na obtenção dos parâmetros geométricos necessários. Esta abordagem permitiu uma quantificação precisa dos custos associados aos materiais empregados no processo construtivo. Ao longo deste trabalho, todos os dados essenciais para o dimensionamento das fundações foram escolhidos de forma criteriosa, coletados e apresentados, fundamentando de maneira sólida o processo conclusivo.

Dentro desse contexto, sugere-se como direcionamento para investigações futuras a continuidade desta pesquisa ao longo dos próximos anos, com o intuito de avaliar o eventual impacto da mão de obra e do tempo empregado nos custos finais. Essa análise permitiria uma compreensão mais abrangente dos fatores determinantes na escolha do tipo de fundação. Acredita-se que essa extensão do estudo não apenas enriquecerá as conclusões apresentadas, mas também contribuirá para aprimorar a precisão na seleção do método de fundação em projetos similares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de edificações. Rio de Janeiro, 2019, 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações: Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-1**: Alvenaria estrutural. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

BARBOSA, E. M. L. **Análise comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico de vedação e drywall**. Revista Especialize On-line IPOG, e. 10. 2015.

BASTOS, P. S. S. **Estudo de sapatas de fundações**. In: \_\_\_\_\_. Estrutura de concreto III. Bauru São Paulo: UNESP, 2016.

BRASIL. Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará (SEINFRA-CE). **Tabela de custos**. Disponível em: < <https://www.seinfra.ce.gov.br/tabela-de-custos/>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

FEDERAL, Caixa Econômica. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil–SINAPI**. Acesso em: 15 out. 2023.

GONÇALVES, M. F. **Estudo comparativo entre blocos cerâmicos, blocos de concreto e blocos solo-cimento para execução de alvenaria**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) pela Universidade Regional do Cariri – URCA, 2016.



LIMA, L. C. O.; SILVA, J. G. S.; MENDONÇA, F. R. S.; SIEIRA, A. C. C. F. **Análise da interação solo-estrutura em edificações assentes sobre fundações rasas do tipo sapata.** Artigo científico, 2018. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/pt/artigos/analise-da-interacao-solo-estrutura-em-edificacoes-assentes-sobre-fundacoes-rasas-do-tipo-sapata/>>. Acesso em: 10 out. 2023.

MARTINO, G. **O que é e quando usar alvenaria estrutural?** Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/963983/o-que-e-e-quando-usar-alvenaria-estrutural>>. Acesso em: 18 out. 2023.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em Alvenaria Estrutural: materiais, projeto e desempenho.** Editora Blucher, 2021.

PANCIERA, G. Estudo de estacas escavadas. In: \_\_\_\_\_. **Estudo de pré-viabilidade na especificação de fundação do tipo de estaca escavada ou sapata isolada em edificações multifamiliar.** Santa Maria: UFSM, 2011.

PEREIRA, C. **Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil.** Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/sistemas-construtivos/>>. Acesso em: 18 out. 2023.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento.** Zigurate, 2008.