



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

JEAN MICHEL DA SILVA ALMEIDA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E PRÉ-MOLDADAS
TRELIÇADAS: UMA ANÁLISE DE CUSTOS E INSUMOS**

**ARARUNA – PB
2022**

JEAN MICHEL DA SILVA ALMEIDA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E PRÉ - MOLDADAS
TRELIÇADAS: UMA ANÁLISE DE CUSTOS E INSUMOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Me. Lays Raianne Azevedo da Costa.

**ARARUNA – PB
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A447e Almeida, Jean Michel da Silva.
Estudo comparativo entre lajes maciças e pré-moldadas treliçadas [manuscrito] : uma análise de custos e insumos / Jean Michel da Silva Almeida. - 2022.
51 p.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2022.
"Orientação : Profa. Ma. Lays Raianne Azevedo da Costa ,
Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
1. Análise estrutural. 2. Cálculo estrutural. 3. Engenharia civil. I. Título

21. ed. CDD 624.1

JEAN MICHEL DA SILVA ALMEIDA

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E PRÉ - MOLDADAS
TRELIÇADAS: UMA ANÁLISE DE CUSTOS E INSUMOS

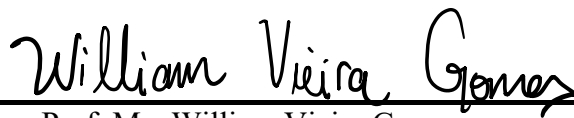
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.
Área de concentração: Estruturas.

Aprovado em: 04/04/2022

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Lays Rianne Azevedo da Costa (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. William Vieira Gomes
Examinador Externo



Prof. Bel. Karina dos Santos Fernandes de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e perseverança para enfrentar os desafios diários ao longo da graduação.

Aos meus pais, Jeane e Socorro, por todo o amor e dedicação e por serem os meus maiores incentivadores.

Aos meus familiares, amigos – em especial a Rodolfo e Luiz – e colegas de faculdade por todo o apoio e ajuda durante o curso.

À UEPB Campus VIII e seus professores, em especial aos meus orientadores Lays Raianne e William Vieira, por todos os conhecimentos e experiências transmitidas, que foram de grande valia para a elaboração deste trabalho.

A todos os que compõem a Solidifica Engenharia, pela oportunidade e contribuição para o meu crescimento profissional. À Paulo César, pelos aprendizados diários, mas principalmente pela amizade desenvolvida nos últimos meses. Vocês foram importantíssimos para a minha formação.

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!”

Mario Sergio Cortella

RESUMO

Com a finalidade de reduzir os impactos dos recentes aumentos dos custos dos insumos da construção civil e o desenvolvimento de arquiteturas cada vez mais arrojadas, faz-se importante para os engenheiros buscarem por soluções mais econômicas que as convencionais. Neste sentido, a utilização de lajes maciças tem se tornado desvantajosa técnica e economicamente, enquanto que novas soluções estruturais vêm tornando-se mais difundidas, como as lajes nervuradas e protendidas. Simultaneamente, as ferramentas de cálculo estrutural têm evoluído cada vez mais, possibilitando fazer análises mais rápidas e eficientes para os projetistas. Neste sentido, este trabalho visa comparar, em termos de custos e insumos, duas soluções estruturais desenvolvidas para uma mesma arquitetura. A primeira solução foi desenvolvida utilizando somente lajes maciças na edificação, enquanto que a segunda utilizou lajes nervuradas treliçadas. Ambas as soluções foram desenvolvidas e orçadas com o auxílio do Eberick e das composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI). Após ambos os sistemas estruturais serem quantificados e orçados, pôde-se concluir que a solução estrutural mais econômica foi aquela que utilizou lajes nervuradas treliçadas.

Palavras-chave: Soluções econômicas. Cálculo estrutural. Eberick. SINAPI.

ABSTRACT

In order to reduce the impacts of recent increases in the costs of civil construction inputs and the development of increasingly bold architectures, it is important for engineers to look for more economical solutions than conventional ones. In this sense, the use of solid slabs has become technically and economically disadvantageous, while new structural solutions are becoming more widespread, such as ribbed and prestressed slabs. Simultaneously, structural calculation tools have evolved more and more, enabling faster and more efficient analysis for designers. In this sense, this work aims to compare in terms of costs and inputs two structural solutions developed for the same architecture. The first solution was developed using only solid slabs in the building, while the second used ribbed truss slabs. Both solutions were developed with Eberick and budgeted using the compositions of the National System for Research on Costs and Indexes (NSRCI). After quantification and budgetement for both structural systems, it was possible to conclude that the most economical structural solution was the one that used latticed ribbed slabs.

Keywords: Economical solutions. Structural calculation. Eberick. NSRCI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vagas de emprego geradas na construção civil.....	9
Figura 2 - Variações dos insumos de julho de 2020 a novembro de 2021.....	10
Figura 3 - Sistema estrutural com laje maciça.	11
Figura 4 - Laje armada em uma direção.....	12
Figura 5 - Laje armada em duas direções.....	13
Figura 6 - Vigota do tipo (a) trilho e (b) treliça.	14
Figura 7 - Laje pré-moldada treliçada em duas direções.....	14
Figura 8 - Armaduras de uma treliça.....	15
Figura 9 - Planta baixa do pavimento térreo.	18
Figura 10 - Planta baixa do pavimento superior.	19
Figura 11 - Resumo de materiais de alguns elementos.	20
Figura 12 - Planta de formas do pavimento superior do modelo de lajes maciças.	43
Figura 13 - Planta de formas do pavimento superior do modelo de lajes pré-moldadas treliçadas.	44
Figura 14 - Planta de formas do pavimento cobertura do modelo de lajes maciças.	45
Figura 15 - Planta de formas do pavimento cobertura do modelo de lajes pré-moldadas treliçadas.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição.	16
Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental.....	21
Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	21
Tabela 4 - Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento das armaduras.....	22
Tabela 5 - Valores característicos das cargas variáveis.....	23
Tabela 6 - Valores característicos dos blocos de vedação.....	24
Tabela 7 - Valores característicos do solo.....	24
Tabela 8 - Consumo de materiais referente às fundações.	25
Tabela 9 - Consumo de materiais referente ao pavimento baldrame.	25
Tabela 10 - Consumo de materiais referente ao pavimento superior.	25
Tabela 11 - Consumo de materiais referente ao pavimento cobertura.	26
Tabela 12 - Consumo de materiais referente ao pavimento reservatório.	26
Tabela 13 - Consumo de materiais referente às fundações.	26
Tabela 14 - Consumo de materiais referente ao pavimento baldrame.	26
Tabela 15 - Consumo de materiais referente ao pavimento superior.	27
Tabela 16 - Consumo de materiais referente ao pavimento cobertura.	27
Tabela 17 - Consumo de materiais referente ao pavimento reservatório.	27
Tabela 18 - Consumo de materiais referente às fundações.	28
Tabela 19 - Consumo de materiais referente ao pavimento baldrame.	28
Tabela 20 - Consumo de materiais referente ao pavimento superior.	28
Tabela 21 - Consumo de materiais referente ao pavimento cobertura.	28
Tabela 22 - Consumo de materiais referente ao pavimento reservatório.	29
Tabela 23 - Composição de insumos e custos referente às lajes do pavimento superior e escada.	29
Tabela 24 - Composição de insumos e custos referente às lajes do pavimento cobertura.	30
Tabela 25 - Composição de insumos e custos referente às lajes do pavimento reservatório.	30
Tabela 26 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento baldrame.	31
Tabela 27 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento superior.	31
Tabela 28 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento cobertura.	32
Tabela 29 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento reservatório.	32
Tabela 30 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento baldrame.	33
Tabela 31 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento superior.	33
Tabela 32 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento cobertura.	34
Tabela 33 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento reservatório.	34
Tabela 34 - Composição de insumos e custos referente às sapatas.	35
Tabela 35 - Composição de insumos e custos referente às lajes nervuradas do pav. superior e escada.	35
Tabela 36 - Composição de insumos e custos referente às lajes nervuradas do pavimento coberta.	36
Tabela 37 - Composição de insumos e custos referente às lajes nervuradas do pavimento reservatório.....	37
Tabela 38 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento baldrame.	37
Tabela 39 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento superior.	38
Tabela 40 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento cobertura.	38
Tabela 41 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento reservatório.	39

Tabela 42 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento baldrame. ...	39
Tabela 43 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento superior.	40
Tabela 44 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento cobertura. ...	40
Tabela 45 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento reservatório.	41
Tabela 46 - Composição de insumos e custos referente às sapatas.	41
Tabela 47 - Comparativo dos custos dos elementos entre os pavimentos.	42
Tabela 48 - Comparativo dos custos entre os pavimentos.	47
Tabela 49 - Comparativo dos carregamentos entre os modelos.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS	10
1.1.1. Geral	10
1.1.2. Específicos.....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. LAJES	11
2.1.1. Lajes maciças.....	11
2.1.1.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ARMAÇÃO	12
2.1.1.1.1. Lajes armadas em uma direção	12
2.1.1.1.2. Lajes armadas em duas direções	13
2.1.1.2. CONDIÇÕES DE APOIO E VINCULAÇÕES.....	13
2.1.1.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	13
2.1.2. Lajes pré-moldadas treliçadas	14
2.1.2.1. ARMADURAS DA TRELIÇA	15
2.1.2.2. ALGUMAS RESTRIÇÕES.....	15
2.1.2.2.1. Capa de concreto	15
2.1.2.2.2. Área de aço.....	16
2.1.2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	16
2.2. AÇÕES	16
2.2.1. Permanentes.....	16
2.2.1.1. PERMANENTES DIRETAS	16
2.2.1.2. PERMANENTES INDIRETAS	16
2.2.2. Variáveis.....	17
2.2.2.1. VARIÁVEIS DIRETAS.....	17
2.2.2.2. VARIÁVEIS INDIRETAS.....	17
2.2.3. Excepcionais.....	17
3. METODOLOGIA	17
3.1. GENERALIDADES	17
3.2. ARQUITETURA MODELO	18
3.3. CÁLCULO ESTRUTURAL.....	20
3.3.1. O software	20
3.3.2. Critérios de projeto	20
3.3.2.1. CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	20
3.3.2.2. RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E CLASSE DO CONCRETO.....	21

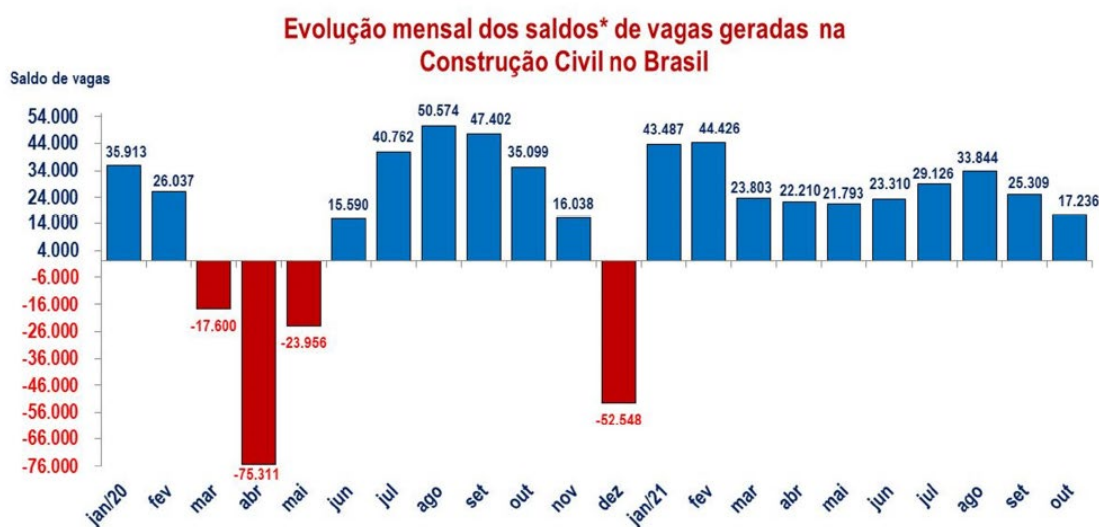
3.3.2.3.	<i>COBRIMENTO DAS ARMADURAS</i>	21
3.3.2.4.	<i>VINCULAÇÕES</i>	22
3.3.2.5.	<i>CARGAS ACIDENTAIS</i>	22
3.3.2.6.	<i>CARGAS DE ALVENARIA</i>	24
3.3.2.7.	<i>SOLO</i>	24
3.4.	CONSIDERAÇÕES PARA O CÁLCULO DOS CUSTOS.....	24
4.	RESULTADOS	25
4.1.	CONSUMOS DOS MATERIAIS	25
4.1.1.	Modelo com lajes maciças.....	25
4.1.2.	Modelo com lajes pré-moldadas treliçadas	26
4.1.3.	Comparativo entre os quantitativos dos dois modelos	27
4.2.	COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS.....	29
4.2.1.	Modelo com lajes maciças.....	29
4.2.1.1.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS LAJES</i>	29
4.2.1.2.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS VIGAS</i>	31
4.2.1.3.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DOS PILARES</i>	33
4.2.1.4.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS SAPATAS</i>	35
4.2.2.	Modelo com lajes treliçadas	35
4.2.2.1.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS LAJES</i>	35
4.2.2.2.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS VIGAS</i>	37
4.2.2.3.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DOS PILARES</i>	39
4.2.2.4.	<i>COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS SAPATAS</i>	41
4.2.3.	Comparativo entre os dois modelos	42
4.2.3.1.	<i>COMPARATIVO DOS CUSTOS DOS ELEMENTOS ENTRE OS PAVIMENTOS</i>	42
4.2.3.2.	<i>COMPARATIVO DOS CUSTOS ENTRE OS PAVIMENTOS</i>	47
4.3.	CARREGAMENTOS E ÁREA.....	47
5.	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a pandemia causada pelo Coronavírus afetou todos os setores econômicos e sociais do país. Quando a pandemia se instaurou no Brasil, iniciou-se o isolamento social e houve a suspensão imediata de todos os setores da economia. Nunes et al. (2020) afirma que um dos setores que mais foi afetado inicialmente foi a construção civil, sobretudo pelo fato de que o segmento estava em lenta recuperação após uma retração de 32,6% desde 2014.

A fim de retomar o crescimento na construção civil e dinamizar a economia, o governo reduziu as taxas de juros do financiamento imobiliário, e decretou, em maio de 2020, a construção civil como sendo atividade essencial (CORSI, 2020). Estes movimentos foram decisivos na retomada do setor e, a partir de junho de 2020, a construção civil passou a ter sucessivos crescimentos na geração de emprego. A Figura 1 apresenta o número de vagas de emprego geradas na construção civil entre janeiro de 2020 e outubro de 2021.

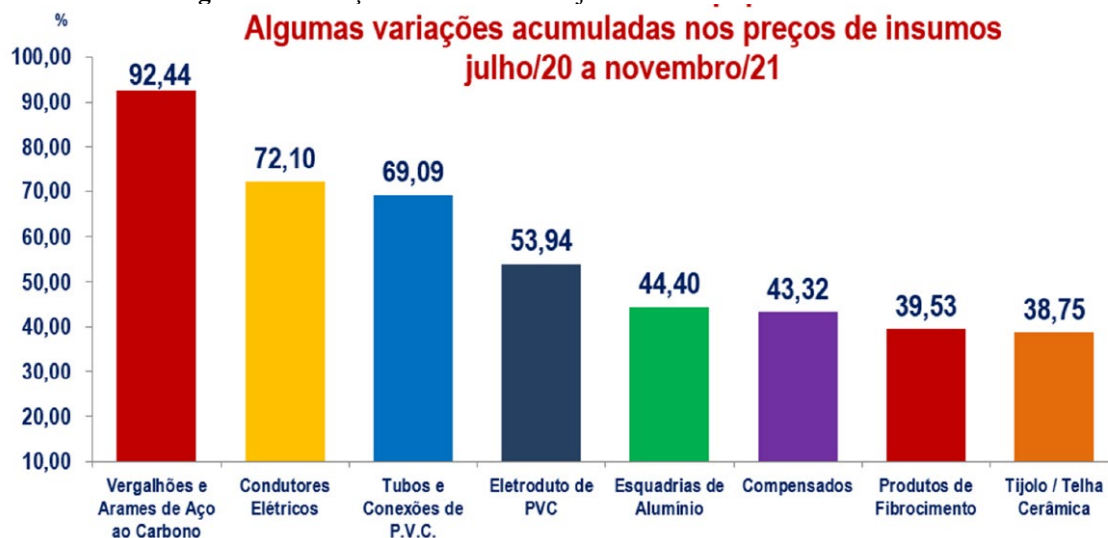
Figura 1 - Vagas de emprego geradas na construção civil.



Fonte: CBIC (2022).

Em paralelo à retomada do crescimento na construção civil, veio a alta dos custos dos materiais de construção. Segundo a CBIC (2022), a expectativa de crescimento do setor, em 2021, era de 4%, mas este índice sequer chegou aos 3%. O setor continua crescendo, mas ele poderia crescer bem mais, não fosse o aumento descontrolado dos insumos (CBIC, 2022). A Figura 2 apresenta as variações acumuladas nos custos dos insumos, no período de julho de 2020 a novembro de 2021.

Figura 2 - Variações dos insumos de julho de 2020 a novembro de 2021.



Fonte: CBIC (2022).

No intuito de mitigar estes aumentos dos custos dos insumos, faz-se importante para os engenheiros buscar por soluções mais econômicas que as convencionais. Neste sentido, Spohr (2008) relata que até pouco tempo, as edificações em concreto armado só utilizavam lajes maciças, sem grandes restrições, diferentemente dos dias atuais.

À medida que os vãos aumentaram e o padrão dos projetos passou a fugir do convencional, a utilização de lajes maciças tornou-se desvantajosa técnica e economicamente. Diante disto, novas soluções estruturais surgiram ou tornaram-se mais difundidas como as lajes nervuradas e protendidas, por exemplo.

Em paralelo a isso, as ferramentas de cálculo tornaram-se mais populares e otimizaram os projetos, possibilitando que fossem feitas, de forma mais rápida, análises comparativas em termos de insumos e custos para uma mesma edificação.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Realizar uma análise comparativa entre lajes maciças e pré-moldadas treliçadas em um projeto em concreto armado, quanto a custos e insumos necessários à execução.

1.1.2. Específicos

- Enunciar vantagens e desvantagens, de caráter técnico e executivo, para os dois tipos de laje contemplados no trabalho;
- Apresentar a composição de custos dos elementos dos projetos contemplados;
- Apresentar o percentual de diferença, do ponto de vista econômico, entre os projetos abordados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. LAJES

As lajes são os elementos de um sistema estrutural responsáveis por receber as cargas de uso das edificações e transmiti-las às vigas. As vigas transmitem essas cargas aos pilares que, por sua vez, transmitem às fundações. Araújo (2014) afirma que embora existam outras formas de concepção, este é o modelo estrutural básico de uma edificação.

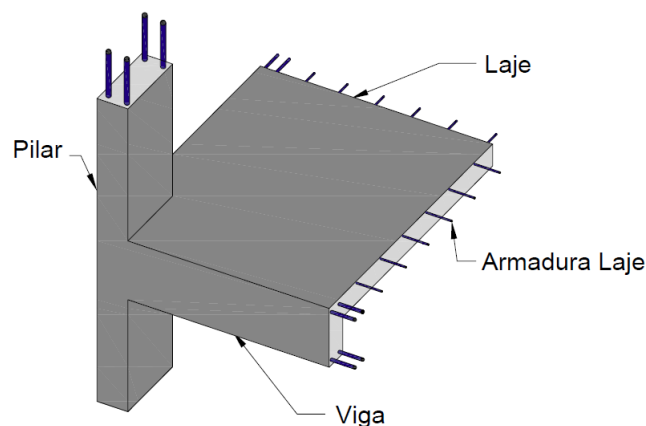
Bastos (2015) afirma que as lajes também são conhecidas por elementos de superfície ou placas. Logo, são considerados elementos bidirecionais, isto é, duas de suas dimensões são da mesma ordem de grandeza e são bem maiores que a sua terceira dimensão, a espessura.

Incide sobre elas boa parte das ações aplicadas numa edificação, podendo ser dos mais variados tipos, a depender da finalidade arquitetônica do espaço que a laje recebe. Estas ações normalmente são perpendiculares ao plano da laje e podem ser: distribuídas linearmente, distribuídas por área ou cargas concentradas. Uma outra ação externa que pode incidir sobre a laje é em forma de momento fletor; contudo, esta geralmente ocorre sobre os seus bordos (BASTOS, 2015).

2.1.1. Lajes maciças

As lajes maciças são moldadas *in loco* e o seu processo de concretagem geralmente é realizado de forma simultânea à concretagem das vigas, fazendo com que o sistema estrutural se torne mais monolítico. Contudo, de acordo com Carvalho e Filho (2014), no caso de laje maciça isolada, pode ser feita uma simplificação de maneira que não se considere esta ligação como sendo monolítica. A Figura 3 mostra a representação de um sistema estrutural com laje maciça.

Figura 3 - Sistema estrutural com laje maciça.



Fonte: Spohr (2008).

Uma característica relevante deste tipo de laje é que ela distribui as suas reações em todas as vigas do seu contorno. Com isso, há um melhor aproveitamento das vigas, pois estas podem receber cargas da mesma ordem de grandeza, a depender dos vãos e das condições de contorno (CARVALHO E FILHO, 2014).

Para Silva (2002), o sistema estrutural composto por lajes maciças apresenta deformações menores, pois a laje contribui para o aumento da rigidez das vigas. Um outro estímulo para utilizar este sistema com lajes maciças ocorre pelo fato deste ser mais antigo e bem difundido pela mão de obra, trazendo facilidade à execução.

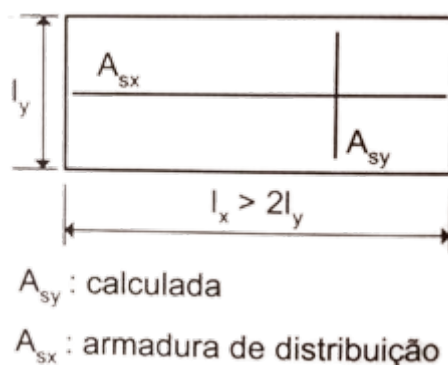
Em contrapartida, Bastos (2015) afirma que as lajes maciças são pouco comuns em construções residenciais ou de pequeno porte, pois nestes casos as lajes pré-moldadas treliçadas apresentam menores custos e uma maior facilidade na execução.

2.1.1.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ARMAÇÃO

2.1.1.1.1. Lajes armadas em uma direção

São as lajes em que a relação entre os seus vãos é superior a 2. Neste cenário, Araújo (2014) afirma que é necessário calcular somente a armadura referente ao menor vão; na direção do vão maior é suficiente adotar apenas uma armadura de distribuição, que tem o objetivo apenas de distribuir possíveis concentrações de esforços. Na Figura 4, é apresentada uma laje armada somente em uma direção.

Figura 4 - Laje armada em uma direção.



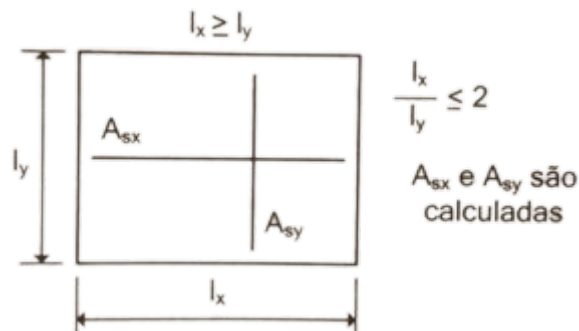
Fonte: Araújo (2014).

A rigor, o que se tem é uma laje armada nas duas direções. Contudo, a designação anterior está consagrada há algum tempo. Portanto, é conveniente utilizá-la neste trabalho.

2.1.1.1.2. Lajes armadas em duas direções

São as lajes em que a relação entre os seus vãos não é superior a 2. Nesta circunstância, Araújo (2014) alega que os momentos fletores nas duas direções são relevantes e devem ser calculados, assim como as suas respectivas armaduras. Na Figura 5, é apresentada uma laje armada – de forma genérica – em duas direções.

Figura 5 - Laje armada em duas direções.



Fonte: Araújo (2014).

2.1.1.2. CONDIÇÕES DE APOIO E VINCULAÇÕES

Pinheiro (2010) afirma que existe uma grande dificuldade de determinar os esforços solicitantes de lajes maciças quando estas são contínuas, devido ao fato de ser necessário considerar a interação laje-viga. Diante disto, é conveniente por parte do projetista tratar estas lajes como sendo lajes isoladas, e calculá-las fazendo algumas considerações a respeito das suas condições de apoio.

Em caso de continuidade de lajes, deve-se admitir um engastamento (PINHEIRO, 2010). Ou seja, em um dado pavimento composto por vários painéis de lajes, em todos os bordos que são comuns a dois painéis as rotações são impedidas.

Em contrapartida, em caso de não continuidade de lajes, bordos externos ou lajes rebaixadas, admite-se a condição de apoio simples. Isto é, não é considerado a capacidade destas lajes engastarem nas vigas de borda (ARAÚJO, 2014).

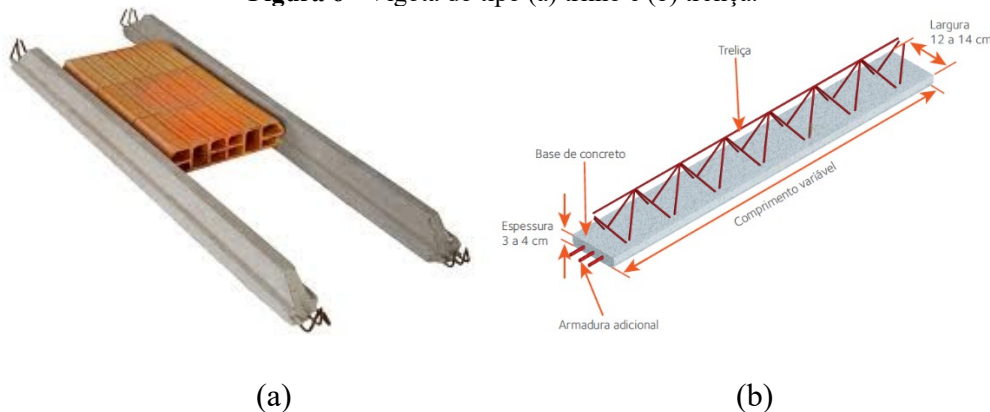
2.1.1.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Do ponto de vista técnico, as lajes maciças se destacam por terem uma metodologia de execução bem difundida e possibilitarem executar elementos de formatos não convencionais. Em contrapartida, este tipo de laje gera um grande custo com escoramentos e formas, além de consumir um grande volume de concreto.

2.1.2. Lajes pré-moldadas treliçadas

As lajes pré-moldadas treliçadas são formadas por elementos pré-moldados – chamados de vigotas – por um material inerte e por uma capa de concreto, que é moldada *in loco*. A vigota, por sua vez, pode ser do tipo trilho ou treliça. A Figura 6 apresenta esses dois tipos de vigota.

Figura 6 - Vigota do tipo (a) trilho e (b) treliça.



Fonte: Franca e Fusco (1997).

Fonte: Gerdau (2018).

A vigota do tipo trilho é composta por barras retas, que são inseridas na sua parte inferior; ao passo que a vigota do tipo treliça é formada por três banzos paralelos e duas laterais de forma senoidal (CARVALHO E FILHO, 2014).

Conforme Carvalho e Filho (2014), estas lajes são consideradas unidirecionais, contudo, podem ser empregadas algumas vigotas e calhas pré-moldadas para se obter uma laje com nervuras em duas direções. A Figura 7 apresenta uma laje neste contexto.

Figura 7 - Laje pré-moldada treliçada em duas direções.



Fonte: Franca e Fusco (1997).

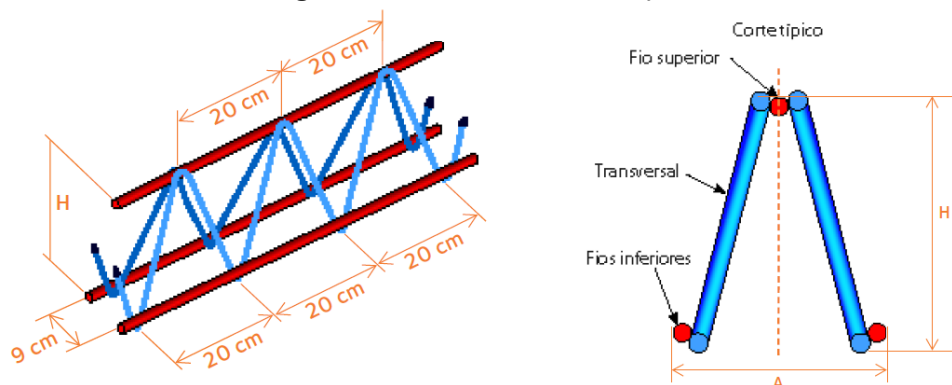
Devido ao seu processo construtivo, estas lajes nervuradas têm como particularidade a disposição das vigotas na sua menor direção, além de serem simplesmente apoiadas (CARVALHO E FILHO, 2014). Neste sentido, a zona tracionada

dessas lajes encontra-se na parte inferior, onde estão localizados os materiais inertes. No dimensionamento destas lajes, a contribuição do concreto da zona tracionada é desprezada, ou seja, assume-se que somente o aço resiste à tração.

Os materiais inertes inseridos possuem peso específico menor que o concreto armado (25 kN/m^3), o que dá a este tipo de laje um menor peso próprio se comparado a uma laje maciça.

2.1.2.1. ARMADURAS DA TRELIÇA

Figura 8 - Armaduras de uma treliça.



Fonte: Arcelormittal (2010).

O fio longitudinal superior funciona como armadura resistente ao momento fletor negativo em regiões de apoio central, além de atuar como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da laje (ARCELORMITTAL, 2010).

As armaduras transversais ou sinusóides, combatem os esforços cisalhantes e promovem uma perfeita coesão entre o concreto pré-moldado da vigota e o concreto de capeamento, moldado *in loco* (SPOHR, 2008).

Os fios longitudinais inferiores resistem às forças de tração geradas pelo momento fletor positivo (ARCELORMITTAL, 2010).

2.1.2.2. ALGUMAS RESTRIÇÕES

2.1.2.2.1. Capa de concreto

A NBR 14859-1 (ABNT, 2016) estabelece espessuras mínimas para a mesa das lajes nervuradas:

- Quando não existirem tubulações horizontais embutidas, a espessura deve ser, no mínimo, de 4 cm.
- Quando existirem tubulações embutidas, o valor mínimo da espessura da mesa deve ser de 5 cm.

2.1.2.2.2. Área de aço

A NBR 14859-1 (ABNT, 2016) preconiza a quantidade mínima de aço a ser alocado nas lajes, que pode ser obtida através da Tabela 1.

Tabela 1 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição.

Aço	Área mínima	Número de barras/m	
		∅ 5 mm	∅ 6,3 mm
CA 25	0,9 cm ² /m	5	3
CA 50, CA 60 e tela soldada	0,6 cm ² /m	3	3

Fonte: NBR 14859-1 (ABNT, 2016).

2.1.2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Spohr (2008) enuncia algumas particularidades acerca da utilização das lajes pré-moldadas treliçadas:

- Redução do peso próprio da laje e alívio de cargas nas fundações.
- Redução nos prazos de execução.
- Diminuição nos custos com carpintaria e armações.
- Limitação quanto a vãos de cerca de quatro metros.
- Possível dificuldade em atender os estados limites de serviço.

2.2. AÇÕES

As ações podem ser definidas como qualquer ação ou influência que provoque solicitações ou deformações em uma estrutura. Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004), as ações são classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais.

2.2.1. Permanentes

São as ações que ocorrem com valores aproximadamente constantes durante toda a vida útil da edificação. Podem ser classificadas em diretas e indiretas.

2.2.1.1. PERMANENTES DIRETAS

São compostas pelo peso próprio da estrutura, instalações permanentes, alvenarias, revestimentos, empuxos de terra, etc.

2.2.1.2. PERMANENTES INDIRETAS

São compostas pelas deformações causadas pela fluência do concreto, imperfeições geométricas, protensão, etc (ABNT NBR 6118, 2014).

2.2.2. Variáveis

São cargas que variam com o passar do tempo. Podem ser classificadas em diretas e indiretas.

2.2.2.1. *VARIÁVEIS DIRETAS*

São as cargas previstas para o uso da edificação, como: pessoas, veículos, vento, água, cargas móveis, etc.

2.2.2.2. *VARIÁVEIS INDIRETAS*

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), são causadas por ações dinâmicas e por variações uniformes e não uniformes de temperatura.

2.2.3. Excepcionais

São ações com baixa probabilidade de ocorrência, decorrentes de incêndio, enchentes, explosões, sismos, etc (IBRACON, 2015).

3. METODOLOGIA

3.1. GENERALIDADES

Neste trabalho, foi desenvolvida uma análise comparativa de custos e insumos entre dois modelos estruturais em concreto armado. Inicialmente, foi definida a arquitetura a ser utilizada para o desenvolvimento dos dois projetos. Posteriormente, foram definidas as divergências nos sistemas estruturais que gerariam as análises deste trabalho.

Optou-se por alterar somente o tipo de laje a ser utilizada em cada projeto: no primeiro modelo foram utilizadas lajes maciças; no segundo, lajes pré-moldadas treliçadas, com blocos de enchimento em EPS.

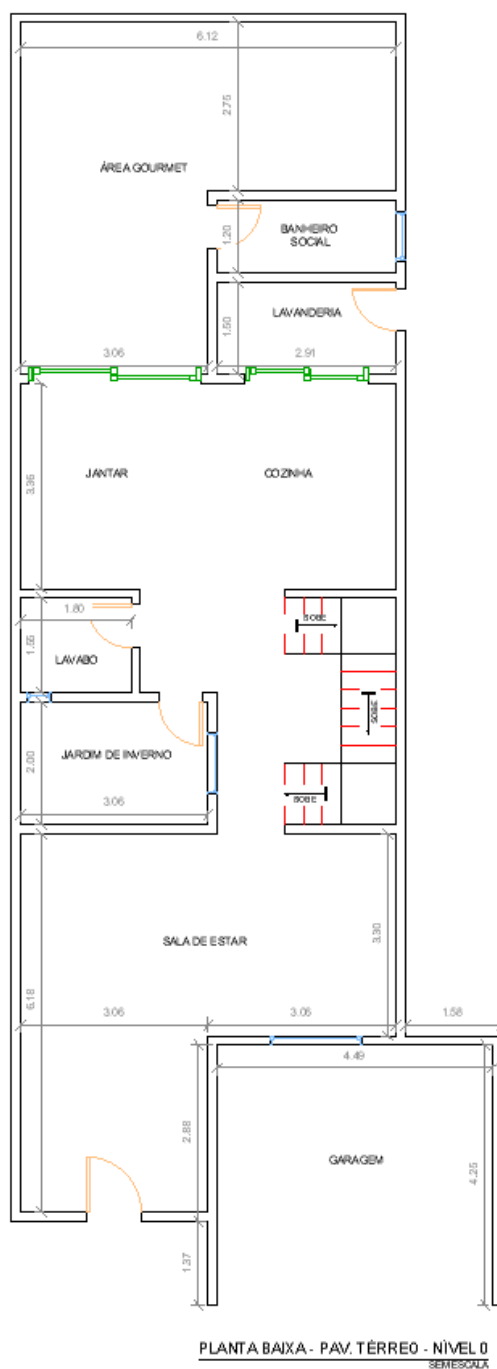
Naturalmente, estas divergências entre os dois modelos geraram concepções, quantitativos e custos diferentes. Os quantitativos de insumos foram obtidos através do software Eberick; enquanto que os seus respectivos custos puderam ser calculados com o auxílio das composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI), referentes a outubro de 2021.

Como o escopo da pesquisa se restringe ao impacto financeiro que a escolha do tipo de laje gera no projeto num todo, optou-se por manter, ao máximo, todas as características técnicas e construtivas entre os dois modelos: as seções e prumadas dos pilares são iguais; em contrapartida, algumas vigas sofreram alterações em virtude dos seus carregamentos e do atendimento aos Estados Limites de Serviço. Além disso, foram adotadas as mesmas cargas acidentais, adicionais e de revestimento nos dois modelos.

3.2. ARQUITETURA MODELO

A arquitetura modelo é de autoria do autor deste trabalho, e trata-se de uma arquitetura fictícia – criada somente para fins educacionais – residencial e de dois pavimentos. Como é necessário definir uma localização para coletar dados referentes à classe de agressividade ambiental e vento, por exemplo, considerou-se que a localização deste projeto seria na cidade de Sousa/PB. As Figuras 9 e 10 apresentam as plantas baixas dos dois pavimentos que compõem a arquitetura utilizada.

Figura 9 - Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: Autor (2021).

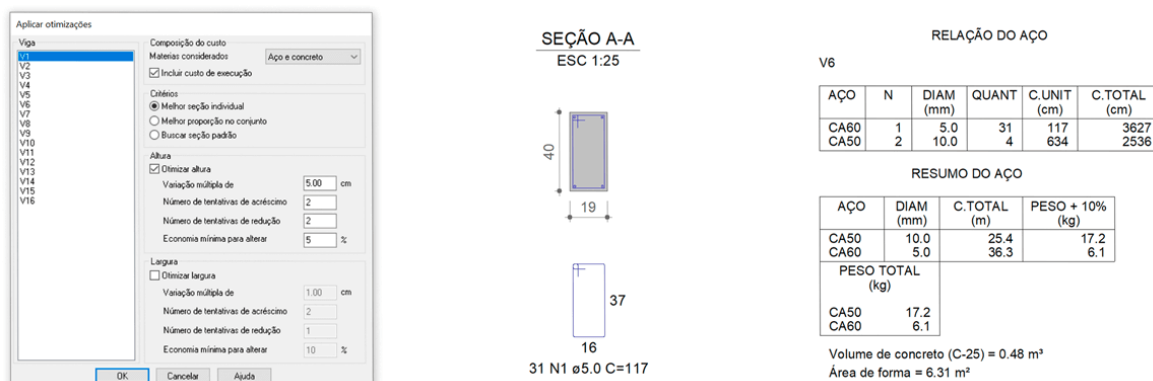
3.3. CÁLCULO ESTRUTURAL

3.3.1. O software

O software utilizado – o Eberick – é um programa de cálculo estrutural, da empresa brasileira AltoQI, que possibilita modelar, analisar, dimensionar e detalhar projetos em concreto armado moldado *in loco*. A versão utilizada foi a 2021, na opção demonstrativa.

Entre as principais possibilidades do programa, está o fato dele gerar o resumo de materiais da estrutura a qualquer momento do projeto e realizar o orçamento de forma integrada ao AltoQI Visus, software para orçamento e planejamento BIM (ALTOQI, 2022). A Figura 11 apresenta a interface geral do resumo de materiais emitida pelo software.

Figura 11 - Resumo de materiais de alguns elementos.



Fonte: Alto QI (2022).

3.3.2. Critérios de projeto

São apresentados os critérios adotados no desenvolvimento dos dois sistemas estruturais.

3.3.2.1. CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do ambiente deve ser classificada de acordo com a Tabela 2. Sendo assim, para os projetos contemplados neste trabalho, adotou-se classe de agressividade ambiental II, agressividade moderada e pequeno risco de deterioração da estrutura.

Tabela 2 - Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial Respingos de maré	Elevado

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.3.2.2. *RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E CLASSE DO CONCRETO*

Para a NBR 6118 (ABNT, 2014), a qualidade do concreto depende majoritariamente da relação água/cimento e do seu grau de hidratação, e um pouco menos do tipo de cimento, adições, adensamento, etc. Logo, para determinar o fator água/cimento e a resistência à compressão do concreto a ser adotada, é permitido que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na Tabela 3. Para este trabalho, em ambos os sistemas estruturais, foi adotado um concreto de classe C25 e relação água/cimento como sendo 0,60.

Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.3.2.3. *COBRIMENTO DAS ARMADURAS*

A Tabela 4 estabelece uma relação entre classe de agressividade ambiental e o cobrimento das armaduras. Neste sentido, foram adotados cobrimentos, em ambos os projetos, de 45 mm para as sapatas, 30 mm para pilares e vigas e 25 mm para as lajes, conforme prescrições normativas.

Tabela 4 - Correspondência entre classe de agressividade e cobrimento das armaduras.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga ou pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo		30	40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga ou pilar	30	35	45	55

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.3.2.4. VINCULAÇÕES

Em geral, o procedimento mais próximo do caso usual de edifícios é aquele que considera as lajes maciças com apoios deformáveis. Araújo (2008) sugere que todas as lajes sejam consideradas simplesmente apoiadas, para efeito de cálculo dos momentos positivos, flechas e reações de apoio. Para o caso de lajes adjacentes, deve ser inserida uma armadura negativa no bordo comum com a mesma área de aço da maior armadura positiva entre as lajes adjacentes (ARAÚJO, 2008). Sendo assim, para este projeto, em todas as lajes que possuem bordos comuns, adotou-se um engaste laje-laje; nos demais casos, adotou-se a vinculação simplesmente apoiada laje-viga.

Com relação às lajes pré-moldadas treliçadas, Carvalho e Filho (2014) sugerem que as vinculações sejam simplesmente apoiadas. Utilizando esta recomendação, a zona tracionada destas lajes encontra-se na parte inferior, onde estão localizados os blocos de enchimento. Neste sentido, pode-se considerar que somente o aço combate as tensões de tração.

3.3.2.5. CARGAS ACIDENTAIS

De um modo geral, os valores das ações são inseridos conforme as particularidades do projeto, devendo sempre, respeitar os valores nominais mínimos indicados no Tabela 5. Para esta pesquisa, a arquitetura requiriu que se adotasse cargas variáveis para: sacada residencial (2,5 kN/m²), cobertura com acesso apenas à manutenção (1 kN/m²), suíte, closet e banheiro (1,5 kN/m²).

Tabela 5 - Valores característicos das cargas variáveis.

	Local	Carga uniformemente distribuída (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Balcões, sacadas, varandas e terraços	Residencial	2,5	-
	Comercial, corporativo e escritório	3	-
	Com acesso público (hotéis, hospitais, escolas, teatros etc)	4	-
Coberturas: cargas para estruturas de concreto armado, mistas e alvenaria estrutural	Com acesso apenas para manutenção ou inspeção	1	-
	Com placas de aquecimento solar ou fotovoltaicas	1,5	-
Edifícios residenciais	Dormitórios		
	Sala, copa e cozinha	1,5	-
	Sanitários		
	Dispensa, área de serviço e lavanderia	2	-
	Quadras esportivas	5	-
	Salão de festas ou de jogos		
	Áreas de uso comum	3	-
	Academia		
	Forro acessível apenas para manutenção	0,1	-
	Sótão	2	-
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	-
Corredores de uso comum	3	-	
Depósitos			
Escadas e passarelas	Hospitais	3	-
	Residenciais e hotéis (dentro de unidades autônomas)	2,5	-
	Residenciais e hotéis (uso comum)	3	-
	Edifícios comerciais, clubes, escritórios e bibliotecas	3	-
	Centros de exposição		
	Centros de convenções e locais de reunião de pessoas, teatros e igrejas	5	-
	Escolas	3	-
		4	-

Cinemas, centros comerciais e shopping centers

Com acesso público	3	-
Sem acesso público	2,5	-

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 2019).

3.3.2.6. CARGAS DE ALVENARIA

A Tabela 6 apresenta valores para carregamentos a serem adotados como cargas permanentes de alvenaria, a depender da espessura das paredes representadas no projeto arquitetônico. Para este projeto, adotou-se 1,9 kN/m² em todas as paredes.

Tabela 6 - Valores característicos dos blocos de vedação.

Alvenaria de vedação	Espessura nominal do elemento (cm)	Peso - espessura de revestimento por face (kN/m ²)		
		0 cm	1 cm	2 cm
Bloco cerâmico vazado (Classe C - ABNT NBR 6136)	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 2019).

3.3.2.7. SOLO

Pelo fato deste trabalho não representar um projeto real e ter somente fins educacionais, algumas informações com relação ao solo tiveram que ser inseridas no software de forma arbitrária pelo autor. Estas informações estão contidas na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores característicos do solo.

Tipo de solo	Arenoso
Pressão admissível	3 kgf/cm ²
Peso específico	1800 kgf/m ³
Ângulo de atrito	30°

Fonte: próprio autor (2022).

3.4. CONSIDERAÇÕES PARA O CÁLCULO DOS CUSTOS

Neste trabalho, foram analisados apenas os insumos e os seus respectivos custos necessários para as execuções da superestrutura e da infraestrutura. Ou seja, não foram contemplados custos com mão de obra ou serviços que se antecedem, como limpeza do terreno e instalação da obra.

Neste sentido, o quantitativo de insumos foi obtido através do Eberick, enquanto que o preço de cada item pôde ser calculado a partir das composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI), com a referência do mês de outubro de 2021.

4. RESULTADOS

Concluído o dimensionamento dos dois modelos estruturais com o auxílio do Eberick, são apresentados os consumos dos materiais referentes à execução da estrutura e seus respectivos custos.

4.1. CONSUMOS DOS MATERIAIS

4.1.1. Modelo com lajes maciças

As Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 dispõem de algumas informações relacionadas ao modelo estrutural constituído por lajes maciças. Estas informações estão divididas de acordo com o seu respectivo nível.

Tabela 8 - Consumo de materiais referente às fundações.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)
Fundações	Sapatas	124,1	3,69	14,61

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 9 - Consumo de materiais referente ao pavimento baldrame.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)
Pavimento baldrame	Vigas	267,8	4,41	73,4
	Pilares	185	1,42	28,35
	Total	452,8	5,83	101,75

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 10 - Consumo de materiais referente ao pavimento superior.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)
Pavimento superior	Lajes	630,2	8,22	92,77
	Vigas	495,8	7,02	112,2
	Pilares	321,2	2,69	53,87
	Escada	53,8	0,92	11,47
	Total	1501	18,85	270,31

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 11 - Consumo de materiais referente ao pavimento cobertura.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)
Pavimento cobertura	Lajes	534,8	9,21	112,95
	Vigas	281,1	5,87	94,19
	Pilares	350,6	2,98	59,54
	Total	1166,5	18,06	266,68

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 12 - Consumo de materiais referente ao pavimento reservatório.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)
Pavimento reservatório	Laje	71,8	0,85	10,6
	Vigas	39,6	0,64	10,67
	Pilares	17,7	0,09	1,8
	Total	129,1	1,58	23,07

Fonte: próprio autor (2021).

4.1.2. Modelo com lajes pré-moldadas treliçadas

As Tabelas 13, 14, 15, 16 e 17 dispõem de algumas informações relacionadas ao modelo estrutural constituído por lajes pré-moldadas de vigotas treliçadas. Para este modelo, além dos quantitativos de aço, concreto e forma, são apresentados os consumos de treliças e blocos de enchimento.

Tabela 13 - Consumo de materiais referente às fundações.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)
Fundação	Sapatas	118,1	3,57	14,3

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 14 - Consumo de materiais referente ao pavimento baldrame.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)
Pavimento baldrame	Vigas	270,6	4,37	72,77
	Pilares	175,4	1,42	28,35
	Total	446	5,79	101,12

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 15 - Consumo de materiais referente ao pavimento superior.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)	Treliças (kg)	EPS (un)
Pavimento superior	Lajes	235,6	5,59	0	233,8	256
	Vigas	539,7	8,43	133,8	-	-
	Pilares	289,7	2,69	53,87	-	-
	Escada	59,2	0,92	11,47	-	-
	Total	1124,2	17,63	199,14	233,8	256

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 16 - Consumo de materiais referente ao pavimento cobertura.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)	Treliças (kg)	EPS (un)
Pavimento cobertura	Lajes	246,3	6,58	0	232,9	307
	Vigas	329,4	6,42	103,33	-	-
	Pilares	292,4	2,98	59,54	-	-
	Total	868,1	15,98	162,87	232,9	307

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 17 - Consumo de materiais referente ao pavimento reservatório.

Descrição	Elementos	Aço + 10% (kg)	Concreto (m ³)	Forma (m ²)	Treliças (kg)	EPS (un)
Pavimento reservatório	Laje	32,6	0,67	0	26,4	21
	Vigas	34,6	0,75	12,17	-	-
	Pilares	12,6	0,09	1,8	-	-
	Total	79,8	1,51	13,97	26,4	21

Fonte: próprio autor (2021).

4.1.3. Comparativo entre os quantitativos dos dois modelos

Tendo feito uma apresentação de quantitativos por elemento estrutural, pode-se fazer alguns comparativos contemplando todos eles, de forma conjunta. Os comparativos dispostos nas Tabelas 18, 19, 20, 21 e 22 incluem somente os elementos que ambos os modelos possuem, ou seja, não são contemplados os blocos de enchimento.

Tabela 18 - Consumo de materiais referente às fundações.

Descrição	Materiais	Modelo com lajes maciças	Modelo com lajes treliçadas
Fundações	Aço + 10% (kg)	124,1	118,1
	Concreto (m ³)	3,69	3,57
	Forma (m ²)	14,61	14,3

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 19 - Consumo de materiais referente ao pavimento baldrame.

Descrição	Materiais	Modelo com lajes maciças	Modelo com lajes treliçadas
Pavimento baldrame	Aço + 10% (kg)	452,8	446
	Concreto (m ³)	5,83	5,79
	Forma (m ²)	101,75	101,12

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 20 - Consumo de materiais referente ao pavimento superior.

Descrição	Materiais	Modelo com lajes maciças	Modelo com lajes treliçadas
Pavimento superior e escada	Aço + 10% (kg)	1501	1358
	Concreto (m ³)	18,85	17,63
	Forma (m ²)	270,31	199,14

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 21 - Consumo de materiais referente ao pavimento cobertura.

Descrição	Materiais	Modelo com lajes maciças	Modelo com lajes treliçadas
Pavimento cobertura	Aço + 10% (kg)	1166,5	1101
	Concreto (m ³)	18,06	15,98
	Forma (m ²)	266,68	162,87

Fonte: próprio autor (2021).

Tabela 22 - Consumo de materiais referente ao pavimento reservatório.

Descrição	Materiais	Modelo com lajes maciças	Modelo com lajes treliçadas
Pavimento reservatório	Aço + 10% (kg)	129,1	106,2
	Concreto (m ³)	1,58	1,51
	Forma (m ²)	23,07	13,97

Fonte: próprio autor (2021).

4.2. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS

4.2.1. Modelo com lajes maciças

4.2.1.1. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS LAJES

Tabela 23 - Composição de insumos e custos referente às lajes do pavimento superior e escada.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento superior e escada	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	99,3	12,71	1262,10
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	284,7	12,79	3641,31
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	161,5	12,05	1946,08
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	31,5	10,44	328,86
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	107,1	11,41	1222,01
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	44	82,64	3636,16
	Concreto usinado, C25	m ³	9,14	348,55	3185,75

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 24 - Composição de insumos e custos referente às lajes do pavimento cobertura.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento cobertura	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	66	12,71	838,86
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	218,7	12,79	2797,17
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	250,2	11,41	2854,78
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	47	82,64	3884,08
	Concreto usinado, C25	m ³	9,21	348,55	3210,15

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 25 - Composição de insumos e custos referente às lajes do pavimento reservatório.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento reservatório	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	63,5	12,79	812,17
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	8,3	11,41	94,70
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	5	82,64	413,20
	Concreto usinado, C25	m ³	0,85	348,55	296,27

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.1.2. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS VIGAS

Tabela 26 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento baldrame.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento baldrame	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	20,5	12,71	260,56
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	148,8	12,79	1903,15
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	19,9	10,44	207,76
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	78,7	11,41	897,97
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	31	82,64	2561,84
	Concreto usinado, C25	m ³	4,41	348,55	1537,11

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 27 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento superior.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento superior e escada	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	18,1	12,71	230,05
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	131,4	12,79	1680,61
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	49,6	12,05	597,68
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	61,1	10,44	637,88
	Aço CA-50, 16 mm, vergalhão	kg	132,2	10,44	1380,17
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	103,5	11,41	1180,94

Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	47	82,64	3884,08
Concreto usinado, C25	m ³	7,02	348,55	2446,82

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 28 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento cobertura.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento cobertura	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	18,1	12,71	230,05
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	145,9	12,79	1866,06
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	20,9	12,05	251,85
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	9,7	10,44	101,27
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	86,6	11,41	988,11
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	39	82,64	3222,96
	Concreto usinado, C25	m ³	5,87	348,55	2045,99

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 29 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento reservatório.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento reservatório	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	9,5	12,71	120,75
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	7,4	12,79	94,65

Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	11,6	12,05	139,78
Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	11	11,41	125,51
Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	5	82,64	413,20
Concreto usinado, C25	m ³	0,64	348,55	223,07

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.1.3. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DOS PILARES

Tabela 30 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento baldrame.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pav. baldrame	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	100,9	12,05	1215,85
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	18,1	10,44	188,96
	Aço CA-60, 16 mm, vergalhão	kg	31,4	10,44	327,82
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	34,6	11,41	394,79
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	12	82,64	991,68
	Concreto usinado, C25	m ³	1,42	348,55	494,94

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 31 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento superior.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento superior e escada	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	152,8	12,05	1841,24
	Aço CA-50, 16 mm, vergalhão	kg	104,2	10,44	1087,85

Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	64,2	11,41	732,52
Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	23	82,64	1900,72
Concreto usinado, C25	m3	2,69	348,55	937,60

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 32 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento cobertura.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento cobertura	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	124	12,05	1494,20
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	39,7	10,44	414,47
	Aço CA-50, 16 mm, vergalhão	kg	116,7	10,44	1218,35
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	70,2	11,41	800,98
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	25	82,64	2066,00
	Concreto usinado, C25	m3	2,98	348,55	1038,68

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 33 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento reservatório.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento reservatório	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	1,9	12,05	22,90

Aço CA-50, 16 mm, vergalhão	kg	13,1	10,44	136,76
Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	2,7	11,41	30,81
Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	1	82,64	82,64
Concreto usinado, C25	m3	0,09	348,55	31,37

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.1.4. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS SAPATAS

Tabela 34 - Composição de insumos e custos referente às sapatas.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Fundações	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	107	12,79	1368,53
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	17,1	12,05	206,06
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	7	82,64	578,48
	Concreto usinado, C25	m3	3,69	348,55	1286,15

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.2. Modelo com lajes treliçadas

4.2.2.1. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS LAJES

Tabela 35 - Composição de insumos e custos referente às lajes nervuradas do pav. superior e escada.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	13,4	12,71	170,31

Pavimento superior e escada	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	10,1	12,79	129,18
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	24,8	12,05	298,84
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	17,4	10,44	181,66
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	229,1	11,41	2614,03
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	5	82,64	413,20
	Concreto usinado, C25	m3	6,51	348,55	2269,06
	Laje pré-moldada com sobrecarga de 350 kgf/m ² e vão de 4,50 m	m2	106,19	56,68	6018,85

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 36 - Composição de insumos e custos referente às lajes nervuradas do pavimento cobertura.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento cobertura	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	246,3	11,41	2810,28
	Concreto usinado, C25	m3	6,58	348,55	2293,46
	Laje pré-moldada treliçada TR8644 (lajotas e vigotas)	m2	120,25	56,68	6815,77

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 37 - Composição de insumos e custos referente às lajes nervuradas do pavimento reservatório.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento reservatório	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	9,6	12,79	122,78
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	23	11,41	262,43
	Concreto usinado, C25	m3	0,67	348,55	233,53
	Laje pré-moldada treliçada TR8644 (lajotas e vigotas)	m2	11,07	56,68	627,45

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.2.2. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS VIGAS

Tabela 38 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento baldrame.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento baldrame	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	23,7	12,71	301,23
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	136,4	12,79	1744,56
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	9	12,05	108,45
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	13,1	10,44	136,76
	Aço CA-50, 16 mm, vergalhão	kg	9	10,44	93,96
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	79,3	11,41	904,81
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	31	82,64	2561,84
	Concreto usinado, C25	m3	4,37	348,55	1523,16

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 39 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento superior.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento superior	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	15,6	12,71	198,28
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	93,6	12,79	1197,14
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	163,7	12,05	1972,59
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	94,6	10,44	987,62
	Aço CA-50, 16 mm, vergalhão	kg	48	10,44	501,12
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	124,1	11,41	1415,98
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	56	82,64	4627,84
	Concreto usinado, C25	m3	8,43	348,55	2938,28

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 40 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento cobertura.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento cobertura	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	27,2	12,71	345,71
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	135	12,79	1726,65
	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	27,8	12,05	334,99
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	36	10,44	375,84
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	103,3	11,41	1178,65

Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	43	82,64	3553,52
Concreto usinado, C25	m3	6,42	348,55	2237,69

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 41 - Composição de insumos e custos referente às vigas do pavimento reservatório.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento reservatório	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	kg	9,5	12,71	120,75
	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	14,3	12,79	182,90
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	10,8	11,41	123,23
	Chapa de madeira compensada plastificada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	6	82,64	495,84
	Concreto usinado, C25	m3	0,75	348,55	261,41

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.2.3. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DOS PILARES

Tabela 42 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento baldrame.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento baldrame	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	112,9	12,05	1360,45
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	26,7	10,44	278,75
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	35,8	11,41	408,48

Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	12	82,64	991,68
Concreto usinado, C25	m3	1,42	348,55	494,94

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 43 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento superior.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento superior	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	178,5	12,05	2150,93
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	42,2	10,44	440,57
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	69	11,41	787,29
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	23	82,64	1900,72
	Concreto usinado, C25	m3	2,69	348,55	937,60

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 44 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento cobertura.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento cobertura	Aço CA-50, 10 mm, vergalhão	kg	152,6	12,05	1838,83
	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	66,1	10,44	690,08
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	73,7	11,41	840,92

Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	25	82,64	2066,00
Concreto usinado, C25	m3	2,98	348,55	1038,68

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

Tabela 45 - Composição de insumos e custos referente aos pilares do pavimento reservatório.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pavimento reservatório	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	kg	4	10,44	41,76
	Aço CA-50, 16 mm, vergalhão	kg	6,5	10,44	67,86
	Aço CA-60, 5 mm, vergalhão	kg	2,1	11,41	23,96
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	1	82,64	82,64
	Concreto usinado, C25	m3	0,09	348,55	31,37

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.2.4. COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DAS SAPATAS

Tabela 46 - Composição de insumos e custos referente às sapatas.

Descrição	Insumo	Unidade	Consumo	Preço mediano unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Fundações	Aço CA-50, 8 mm, vergalhão	kg	118,1	12,79	1510,50
	Chapa de madeira compensada resinada de 2,20 x 1,10 (E = 20 mm)	un	6	82,64	495,84

Concreto usinado, C25	m3	3,57	348,55	1244,32
--------------------------	----	------	--------	---------

Fonte: Adaptado de SINAPI (2021).

4.2.3. Comparativo entre os dois modelos

4.2.3.1. COMPARATIVO DOS CUSTOS DOS ELEMENTOS ENTRE OS PAVIMENTOS

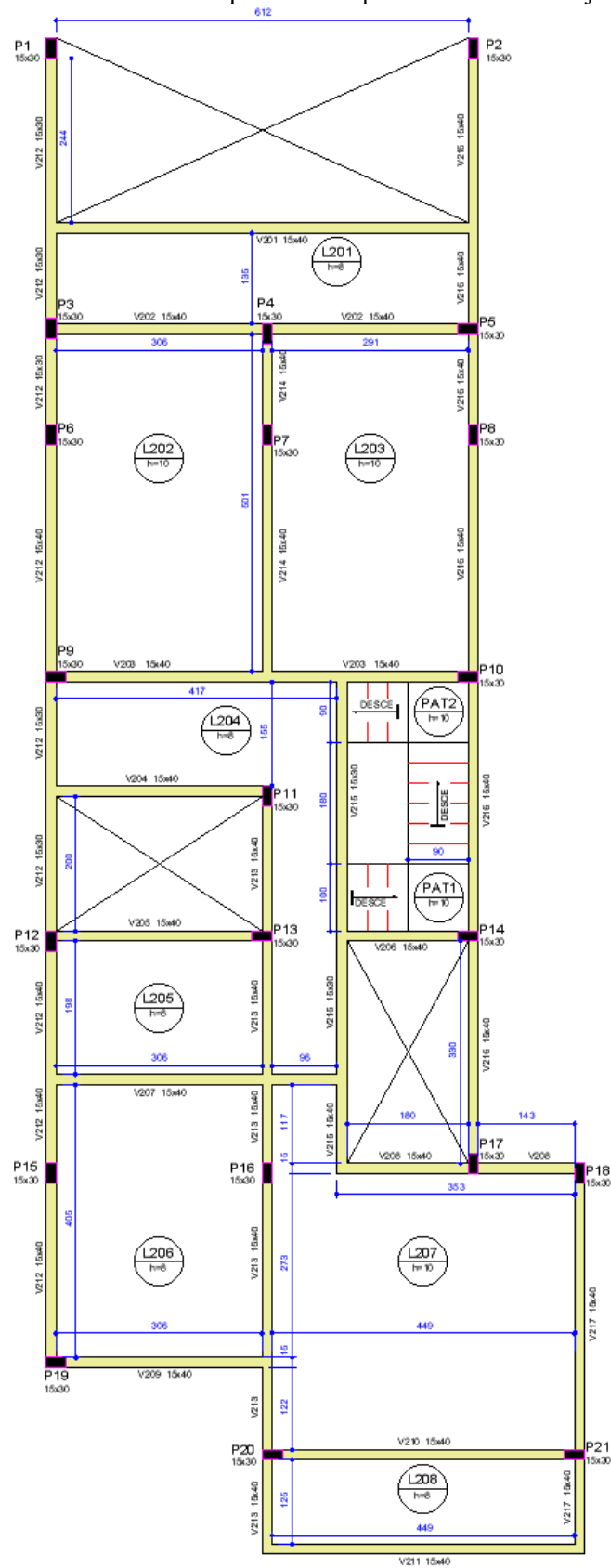
Tabela 47 - Comparativo dos custos dos elementos entre os pavimentos.

Pavimento	Modelo	Lajes	Vigas	Pilares	Sapatas
Fundações	Maciça	-	-	-	R\$ 3.439,21
	Treliçada	-	-	-	R\$ 3.250,66
Baldrame	Maciça	-	R\$ 7.368,38	R\$ 3.614,03	-
	Treliçada	-	R\$ 7.374,77	R\$ 3.534,29	-
Superior	Maciça	R\$ 15.222,27	R\$ 12.038,23	R\$ 6.499,93	-
	Treliçada	R\$ 12.095,13	R\$ 13.838,85	R\$ 6.217,10	-
Cobertura	Maciça	R\$ 13.585,04	R\$ 8.706,28	R\$ 7.032,68	-
	Treliçada	R\$ 11.919,51	R\$ 9.753,06	R\$ 6.474,51	-
Reservatório	Maciça	R\$ 1.616,34	R\$ 1.116,95	R\$ 304,48	-
	Treliçada	R\$ 1.246,19	R\$ 1.184,12	R\$ 247,59	-

Fonte: próprio autor (2021).

Analisando de forma isolada, as lajes maciças mostraram-se mais onerosas do que as lajes nervuradas treliçadas. Em contrapartida, as vigas do modelo de lajes maciças apresentaram um menor custo; isto pode ser explicado pelo fato de o modelo de lajes treliçadas demandar um maior número de vigas – que pode ser observado nas plantas de forma, dispostas nas Figuras 12, 13, 14 e 15 – a fim de mitigar a sua restrição quanto a vãos ou reduzir o impacto que cargas de parede causam nos estados limites de serviço de algumas lajes.

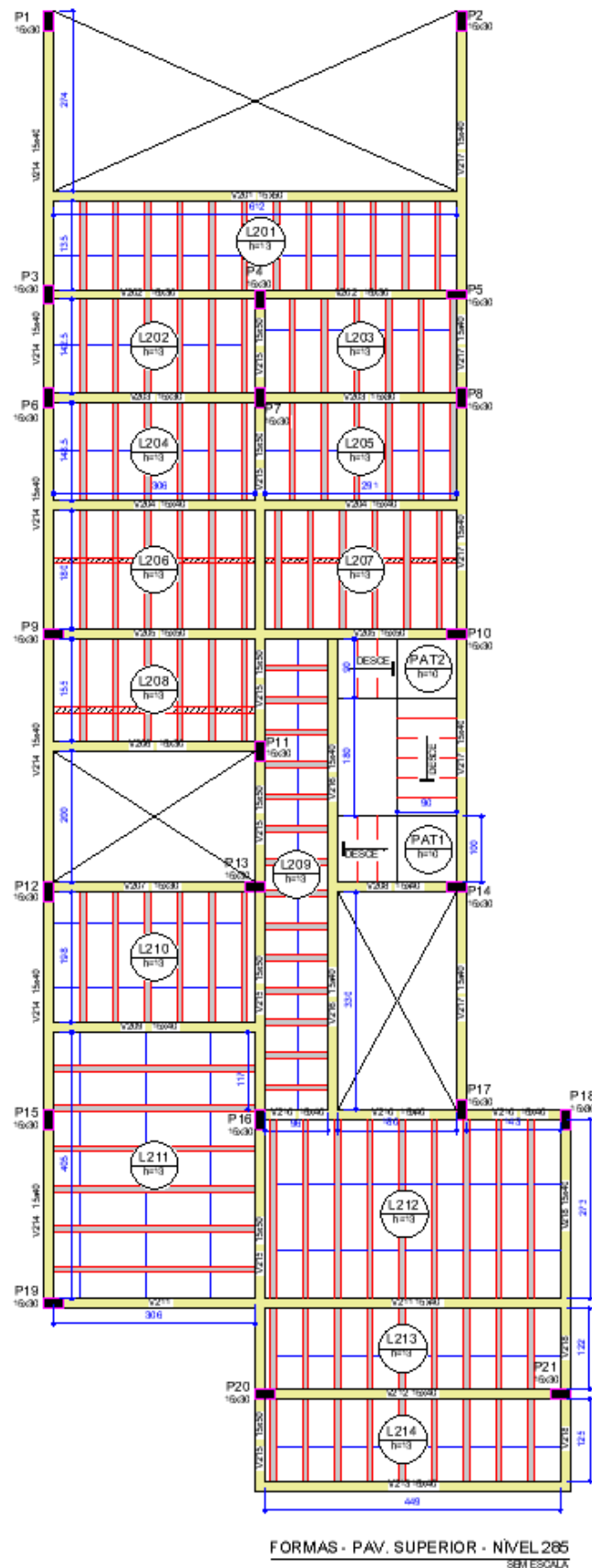
Figura 12 - Planta de formas do pavimento superior do modelo de lajes maciças.



FORMAS - PAV. SUPERIOR - NIVEL 285
SEM ESCALA

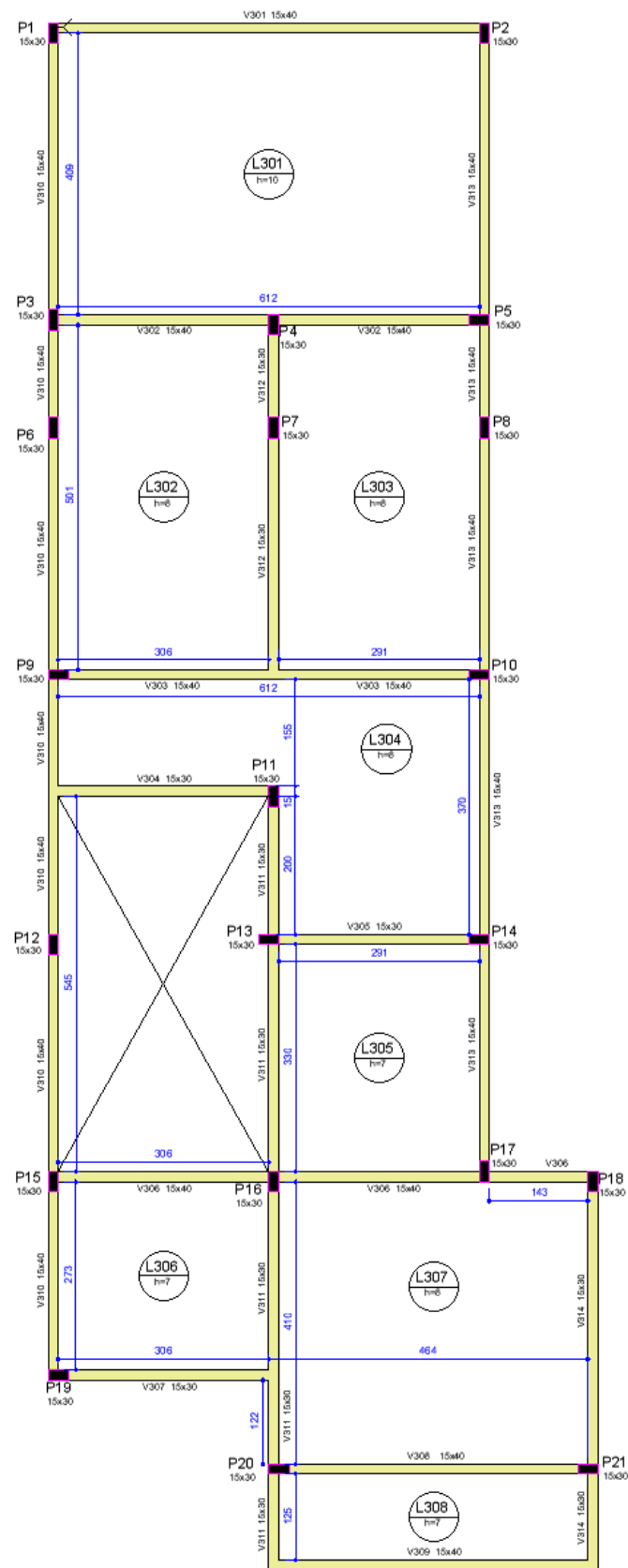
Fonte: próprio autor (2021).

Figura 13 - Planta de formas do pavimento superior do modelo de lajes pré-moldadas treliçadas.



Fonte: próprio autor (2021).

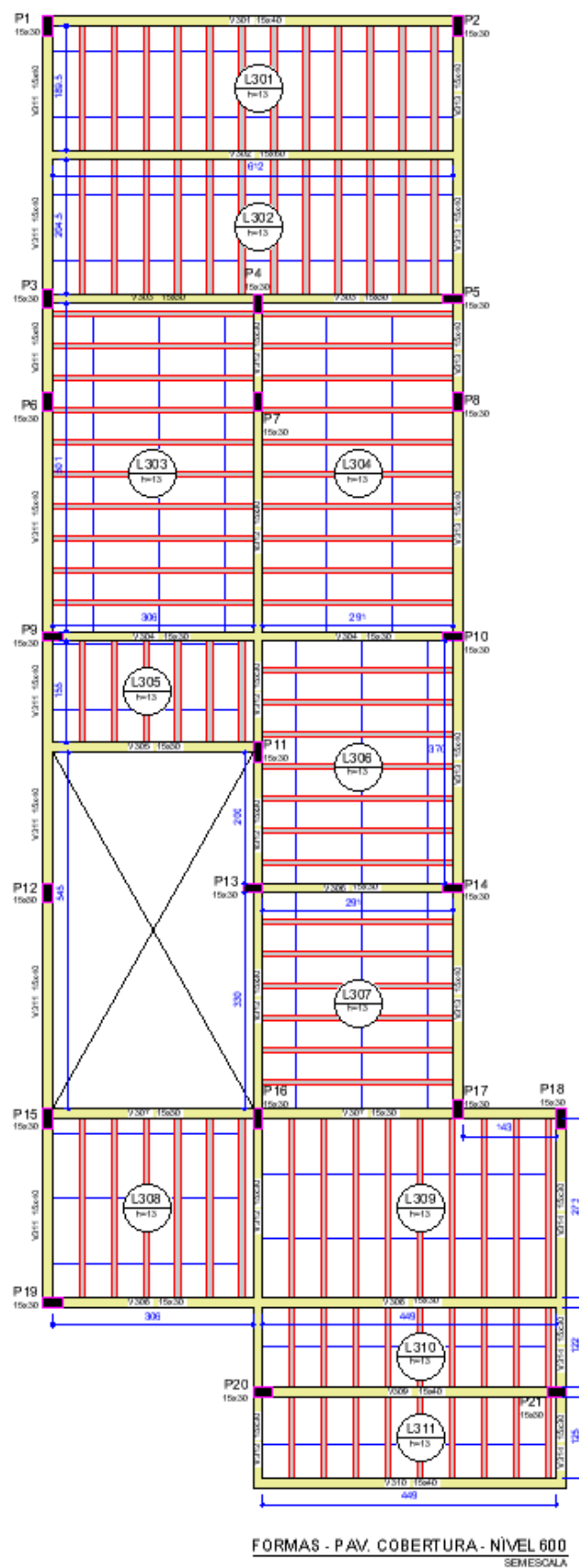
Figura 14 - Planta de formas do pavimento cobertura do modelo de lajes maciças.



FORMAS - PAV. COBERTURA - NIVEL 600
SEM ESCALA

Fonte: próprio autor (2021).

Figura 15 - Planta de formas do pavimento cobertura do modelo de lajes pré-moldadas treliçadas.



Fonte: próprio autor (2021).

Os pilares e sapatas, do modelo de lajes maciças, mostraram-se mais custosos. Isto pode ser explicado ao observar o comparativo da Tabela 49, onde mostra que a estrutura formada por lajes maciças apresentou um maior peso próprio, se comparado ao modelo de lajes nervuradas treliçadas.

4.2.3.2. COMPARATIVO DOS CUSTOS ENTRE OS PAVIMENTOS

Tabela 48 - Comparativo dos custos entre os pavimentos.

Projeto completo	Modelo com lajes maciças	Modelo com lajes treliçadas	Diferença percentual
	R\$ 80.543,82	R\$ 77.135,78	4,23%

Fonte: próprio autor (2021).

Pode-se observar que a diferença de custos entre os dois modelos obtida neste trabalho foi mínima, pouco mais de 4%. Em seu trabalho, Gonzalez (1997) desenvolveu a mesma temática e concebeu duas arquiteturas residenciais, onde pôde concluir que na primeira arquitetura as lajes nervuradas treliçadas proporcionaram uma economia de 7,85%; enquanto que na segunda, as lajes maciças foram 18,02% mais onerosas. Em contrapartida, Diniz et al. (2021) chegaram a uma diferença bem mais considerável: as lajes nervuradas treliçadas foram 45,5% mais econômicas do que as lajes maciças.

4.3. CARREGAMENTOS E ÁREA

Tabela 49 - Comparativo dos carregamentos entre os modelos.

Modelo	Peso próprio (tf)	Cargas adicionais (tf)	Cargas acidentais (tf)	Água (tf)	Carga final (tf)	Área total (m ²)	Relação (kgf/m ²)
Maciça	112,98	108,09	23,27	2	246,34	240,93	1022,45
Treliçada	107,95	108,09	23,27	2	241,31	240,93	1001,58

Fonte: próprio autor (2021).

5. CONCLUSÕES

Este trabalho comparou dois modelos estruturais com diferentes tipos de laje, e desenvolvidos a partir de uma mesma arquitetura, no intuito de identificar qual solução estrutural resultaria em um menor quantitativo de insumos e menor custo.

Neste sentido, verificou-se a partir das Tabelas 18, 19, 20, 21 e 22 que o modelo composto por lajes maciças teve um maior consumo de insumos em todos os pavimentos da edificação.

Analisando de forma individual, as lajes foram os elementos mais representativos em ambos os sistemas estruturais. No modelo de lajes maciças, o índice foi de 37,8% em relação ao custo total dos insumos; em contrapartida, no outro modelo, as lajes nervuradas treliçadas representaram 32,9%.

Pilares e sapatas tiveram custos menores e parecidos entre os dois modelos, divergindo entre si apenas 6%, sendo que o sistema que obteve a solução mais cara foi o de lajes maciças. As vigas do sistema de lajes nervuradas, no entanto, tiveram um custo um pouco maior (9%), se comparadas ao outro modelo.

De um modo geral, a solução mais econômica para este trabalho foi aquela que é composta por lajes nervuradas treliçadas, que resultou em uma economia de 4,23%. Além do fato de consumir menos material, este sistema é mais vantajoso pois propicia uma execução mais rápida, menos escoramentos e um menor peso próprio da estrutura.

Por fim, vale salientar que este trabalho resumiu-se somente a insumos e custos. Para uma análise mais completa, é extremamente necessário considerar outras variáveis que são relevantes para o custo de uma obra, como: tempo, mão de obra, a possibilidade de haver um reaproveitamento das formas, etc.

REFERÊNCIAS

- ARCELORMITTAL. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**. jul. 2010. Catálogo técnico.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento** (NBR 6118). Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações para o cálculo de estruturas de edificações** (NBR 6120). Rio de Janeiro, RJ, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento** (NBR 8681). Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lajes pré – fabricadas de concreto – Parte 1: vigotas minipainéis e painéis – Requisitos** (NBR 14859-1). Rio de Janeiro, RJ, 2016.
- ARAÚJO, José Milton de. **Avaliação dos métodos simplificados para cálculo de lajes maciças apoiadas em vigas flexíveis**. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande: Ed. Dunas, nº 12, p. 1-11, out. 2008. Disponível em: www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art1_N12.pdf
- ARAÚJO, José Milton de. **CURSO DE CONCRETO ARMADO**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. 421 p. v. 2.
- BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto**. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, 2015. 115 p. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2022.
- CAIXA. **PREÇOS DE INSUMOS**. 2021. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-pb/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_PB_102021_NaoDesonerado.zip. Acesso em: 19 nov. 2021.

CARVALHO, R. C. FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturais usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

CONSTRUÇÃO, Câmara Brasileira da Indústria da. **Desempenho da Construção Civil em 2020 e perspectivas para 2021**. 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/12/balanco-construcao-2020-2021.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2022.

CONSTRUÇÃO, Câmara Brasileira da Indústria da. **Construção Civil: desempenho 2021 e cenário para 2022**. 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/12/construcao-civil-desempenho-2021-e-cenarios-2022.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2022.

CORSI, Francisco Luiz. **O Baixo Crescimento da Economia Brasileira**. In: CORSI, Francisco Luiz; SANTOS, Agnaldo dos. Os Rumos Do Brasil e da América Latina. 1 ed. Bauru, São Paulo: Canal 6 Editora, 2020.

DINIZ, Jose Felipe de Souza *et al.* Custo benefício do uso de laje maciça convencional e a laje pre-fabricadas treliçada no projeto de uma residência unifamiliar com dois pavimentos. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 11, p. 108201-108219, 24 nov. 2021.

FRANCA, A. B. M. FUSCO, P. B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. 1 ed. São Paulo: ABRAPEX, 1997.

GERDAU. **Manual Técnico de Lajes Pré-Fabricadas**. jan. 2018. Catálogo técnico.

GONZALEZ, Rogério Luciano Miziara. **ANÁLISE DE LAJES PELA TEORIA DAS CHARNEIRAS PLÁSTICAS E COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES TRELIÇADAS**. 1997. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

IBRACON. **ABNT NBR 6118:2014 - COMENTÁRIOS E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO**. São Paulo: Ibracon, 2015. 480 p.

NUNES, Jessica Martins; LONGO, Orlando Celso; ALCOFORADO, Luciana Ferreira; PINTO, Gustavo Oliveira. O setor da Construção Civil no Brasil e a atual crise econômica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9.

PINHEIRO, Libânio Miranda. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010. 379 p.

QI, Alto. **Alto QI Eberick**. 2022. Disponível em: <https://www.altoqi.com.br/eberick>. Acesso em: 28 fev. 2022.

SILVA, A. R. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

SPOHR, V. H. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.