

Aldo Henrique de Oliveira Gurjão

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES COM VIGOTAS
PROTENDIDAS E TRELIÇADAS

Palmas - TO

2020

Aldo Henrique de Oliveira Gurjão

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES COM VIGOTAS
PROTENDIDAS E TRELIÇADAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior

Aldo Henrique de Oliveira Gurjão

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES COM VIGOTAS PROTENDIDAS E
TRELIÇADAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.e Daniel Iglesias de Carvalho

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.e Denis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2020

Aos meus pais Aldo e Sinara, irmãos Sandy e Andrey, minha vó Delma (*in memoriam*) e minha família, que sempre apoiaram e tenho imensa gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus.

Agradeço aos meus pais Aldo e Sinara que me apoiaram desde o início em todas as minhas decisões.

Aos meus irmãos Sandy e Andrey, e parentes que me ajudaram nessa caminhada.

Agradeço ao meu professor e orientador Dr. Roldão Pimentel de Araújo Júnior por aceitar e me conduzir em todo o meu trabalho.

A minha vó Delma e meu vô Aldo que estão presentes em meu coração e nas minhas lembranças.

Também agradeço aos meus amigos Elias, Waister, Israel, Luciano que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte de tudo isso.

RESUMO

O uso das lajes com vigotas pré-fabricadas têm sido uma opção para a construção civil comumente utilizada, uma vez que empresários visam uma estrutura de baixo custo, durável e que tenha segurança acima de tudo. Compreendendo tal situação, o avanço tecnológico busca métodos que torne possível a construção com praticidade, fácil manuseio, custo benefício e segurança. A utilização de lajes com vigotas protendidas e treliçadas são capazes de atingirem vãos maiores, e se comparadas a métodos passados trazem economias em consumo de concreto, aço, menor quantidade de escoramento, e além disso de ter menor peso específico, onde isso pode resultar em menores cargas nas fundações. Assim, o objetivo deste estudo é realizar um comparativo sobre a adoção de lajes treliçadas e protendidas. Para análise foram utilizadas duas ferramentas computacionais AutoCAD e Eberick. Para o projeto, foi utilizado uma estrutura de concreto armado com 2.917,40m² de área e 27,40m de altura, foi utilizado a mesma estrutura para ambas as lajes. Os resultados apresentaram que o coeficiente gama Z teve uma pequena mudança de uma estrutura para a outra, foi de apenas 0.01 maior para as lajes treliçadas, onde a única influencia foi nas cargas das lajes terem sido superiores. As lajes protendidas obtiveram menores deformações e cargas, já as lajes treliçadas como as cargas foram maiores, tiveram um aumento nos esforços das fundações. As lajes protendidas tiveram custos mais altos, contudo as vigas, pilares ficaram com o custo mais elevados devido aos carregamentos que as treliçadas proporcionaram, com isso as fundações tiveram um custo maior, e no final o custo total da estrutura, as com lajes protendidas tiveram um custo benefício melhor.

Palavras-chave: lajes, custo benefício, cargas, fundações, deformações, flechas, vigotas, Eberick.

ABSTRACT

The use of slabs with joists prefabricated has been an option for civil construction commonly used, since entrepreneurs are looking for a low cost structure, durable and that has security above all. Understanding such a situation, technological advances seek methods that make construction practical, easy handling, cost benefit and security. The use of slabs with prestressed and trussed joists are able to reach larger spans, and compared to past methods bring savings in concrete consumption, steel, smaller amount of shoring, and besides having lower specific weight, where this can result in lower loads on the foundations. Thus, the objective of this study is to make a comparison about the adoption of trusses and prestressed. Two computer tools AutoCAD and Eberick were used for analysis. For the design, a reinforced concrete structure with 2,917.40m² of area and 27.40m of height was used, the same structure was used for both slabs. The results showed that the gama Z coefficient had a small change from one structure to another, was only 0.01 higher for the lattice slabs, where the only influence was on the slab loads being higher. The prestressed slabs obtained lower deformations and loads, already the lattice slabs as the loads were higher, had an increase in the efforts of foundations. The prestressed slabs had higher costs, meanwhile the beams, pillars had the highest cost due to the loads that the trusses provided, with that the foundations had a higher cost, and at the end the total cost of the structure, the prestressed slabs showed a better cost-benefit ratio.

Keywords: slabs, cost benefit, loads, foundations, deformations, arrows, joists, Eberick.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vigota treliçada.	10
Figura 2 - Laje treliçada.	11
Figura 3 - Laje protendida.	13
Figura 4 - Execução de Laje protendida.	14
Figura 5 - Demonstração da laje protendida.	14
Figura 6 - Pórticos com cargas horizontais e verticais.	17
Figura 7 - Tipos de fundações superficiais.	20
Figura 8 - Hélice contínua.	21
Figura 9 - Posição dos pilares do pavimento térreo.	28
Figura 10 - Posição dos pilares do pavimento tipo.	28
Figura 11 - Fachada frontal.	29
Figura 12 - Onde é extraído o resultado de gama Z.	31
Figura 13 - Demonstração das dimensões das vigotas.	32
Figura 14 - Deslocamentos das lajes.	32
Figura 15 - Janela de lançamento de fundação.	33
Figura 16 - Dimensionamento dos blocos.	34
Figura 17 - Pórtico 3D.	37
Figura 18 - Resultados da estrutura das lajes com vigotas protendidas.	38
Figura 19 - Resultados da estrutura das lajes com vigotas treliçadas.	39
Figura 20 - Deslocamentos da laje 20 com vigotas protendidas.	40
Figura 21 - Flecha na laje 20 com vigotas treliçadas.	40
Figura 22 - Flecha na laje 13 com vigotas protendidas.	41
Figura 23 - Flecha na laje 13 com vigotas treliçadas.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Módulos do pacote top Eberick.	15
Tabela 2 - Limites para deslocamentos.....	19
Tabela 3 - Consumo de material.	22
Tabela 4 - Parâmetros de estabilidade (gama z).....	22
Tabela 5 - Comparação de volume de concreto (m ³).	23
Tabela 6 - Comparação área de aço (cm ² /m).....	23
Tabela 7 - Comparação das flechas.....	24
Tabela 8 - Comparativo total de custos em Reais (R\$).	25
Tabela 9 - Cargas das lajes.	30
Tabela 10 - Sondagem SPT.....	35
Tabela 11 - Dimensionamento das estacas.	36
Tabela 12 - Dados das lajes.....	40
Tabela 13 - Relatório de cargas nas fundações.	42
Tabela 14 - Relatório de cargas nas fundações parte final.....	43
Tabela 15 - Relatório de custos lajes com vigotas protendidas.	46
Tabela 16 - Relatório de custos lajes com vigotas treliçadas.	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre valores.....	44
Gráfico 2 - Custo total.	45
Gráfico 3 - Diferença dos custos.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
EPS	Poliestireno Expandido
NBR	Norma Brasileira
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Justificativa	8
1.2 Objetivos.....	9
1.2.1 Objetivo geral	9
1.2.2 Objetivos específicos	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 Lajes treliçadas.....	10
2.2 Lajes protendidas	12
2.3 Ferramenta computacional Eberick.....	15
2.4 Estabilidade global da estrutura gama Z.....	16
2.5 Avaliações de flechas nas lajes	17
2.6 Fundações.....	19
2.7 Trabalhos relacionados com o tema	22
2.7.1 Trabalho de Carvalho, 2012	22
2.7.2 Trabalho de Marçal, 2014	23
2.7.3 Trabalho de ROSA, 2017	24
2.7.4 Trabalho de Antunes, 2017.....	25
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 Tipo de estudo	27
3.2 Caracterizações gerais	27
3.3 Especificações do projeto	27
3.4 Configurações de materiais e durabilidade.....	30
3.5 Avaliações.....	31
3.5.1 Avaliação do gama Z (γ_z)	31
3.5.2 Deformações das lajes (flechas)	32
3.5.3 Esforços nas fundações	33

3.5.4 Custos totais dos materiais	36
4 RESULTADOS E ANÁLISES	37
4.1 Os resultados obtidos na avaliação do gama Z	37
4.2 Os resultados obtidos nas flechas das lajes	39
4.3 Os resultados obtidos nos esforços de cargas na fundação	41
4.4 Os resultados obtidos nos custos dos materiais	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia civil é imprescindível a inovação assim como em qualquer outra área. O mercado de trabalho busca o melhor custo, maior rapidez, maior qualidade, segurança e além disso uma estrutura deve ser durável. Para que tenha todos os quesitos necessários, houveram estudos com diversos tipos de lajes, afim de definir a melhor em questão de custo benefício.

As lajes pré-moldadas também conhecidas como lajes pré-fabricadas foram desenvolvidas na Europa, para atender os processos de construções. Entretanto houveram dificuldades com a mão de obra qualificada. Na década de 60 chegou ao Brasil, e com a evolução do conhecimento sobre as lajes, foi desenvolvido normas brasileiras, para que tivesse um controle de qualidade, execução e custo. Apesar disso, somente na década de 80 que houve uma demanda maior na construção civil, onde houveram mais especializações e os empregos na área de pré-moldagem. (SILVA, 2018)

As lajes formadas por vigotas pré-fabricadas estão sendo muito utilizadas em construções no Brasil, sendo elas de pequeno a grande porte. O que mais ajuda são os benefícios de fácil manuseio e de não precisar utilizar fôrmas, isso aumentou a rapidez no processo construtivo. A mais utilizada são as vigotas treliçadas, pois a fabricação é de forma simples, com isso se tornou mais acessível. Essas lajes são compostas por placas, vigotas, painéis de concreto ou tabelas, esses elementos são pré-fabricados, e a montagem da laje é feita in loco, com espaçamentos uniformes, com isso é feita a concretagem da laje. (SILVA, 2018)

Dentre essas lajes, são utilizadas vigotas treliçadas (VT) e a vigotas protendidas (VP), cada uma com seus benefícios e malefícios, sendo elas nos custos, nas deformações, nos tamanhos vãos e também no processo construtivo. As vigotas têm concreto e aço, onde existe a resistência em dois tipos de esforços, sendo o concreto na compressão e o aço na tração.

Dessa forma, esse trabalho visa trabalhar com dois tipos de vigotas em lajes, para verificar qual delas possui melhores vantagens quanto à custos, materiais e qual tem menores deformações.

1.1 Justificativa

O avanço tecnológico chegou na construção civil, principalmente através do aparecimento de elementos pré-moldados, assim tornou-se possível construir bens de forma mais rápida e com uma qualidade superior se comparadas a técnicas utilizadas anteriormente, sendo assim, a utilização de pré-moldados na construção civil se tornou popular, visto suas praticidades na hora da execução principalmente em relação a execução de lajes. (PISONI e VARGAS, 2016)

A utilização de lajes com vigotas protendidas e treliçadas são capazes de atingirem vãos maiores, trazendo vantagens e desvantagens em ambos os casos, se comparadas a métodos passados trazem uma economia significativa no consumo de concreto, precisando de menor quantidade de escoramento, além de ter menor peso específico, o que resulta numa redução da carga na fundação da obra.

Desse modo, justifica-se a execução deste tema uma vez que as lajes são elementos primordiais para segurança das construções, seja ela de pequeno, médio ou grande porte, sendo assim, as grandes transformações no ramo civil promoveram modificações importantes e técnicas modernas neste segmento sendo necessários estudos de melhor enquadramento para o tipo construtivo a partir de estudo de viabilidades, vantagens, custos entre outros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo comparativo sobre a adoção de lajes treliçadas e protendidas, utilizando a ferramenta computacional Eberick da empresa AltoQi, para a análise e dimensionamento da estrutura.

1.2.2 Objetivos específicos

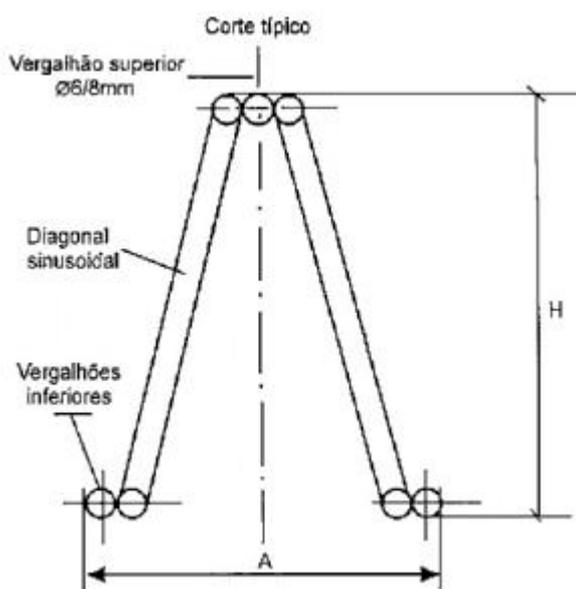
- Avaliar a estabilidade global da estrutura a partir do coeficiente gama Z;
- Analisar as deformações das lajes (flechas);
- Avaliar possíveis mudanças dos esforços nas fundações;
- Comparar os custos de materiais (aço, fôrma e concreto).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lajes treliçadas

A Laje treliçada é chamada também de Lajes com vigotas treliçadas, sendo formada por uma treliça, que constitui duas barras de aço paralelas na base as quais são chamadas de banzo inferiores, e uma barra de aço no topo (banzo superior) ligadas por duas barras de aços na diagonal as quais são chamadas de sinusóides com espaçamento regular, a qual pode ser observado na Figura 1 abaixo. (SILVA, 2019).

Figura 1 - Vigota treliçada.



Fonte: Ferreira, 2016.

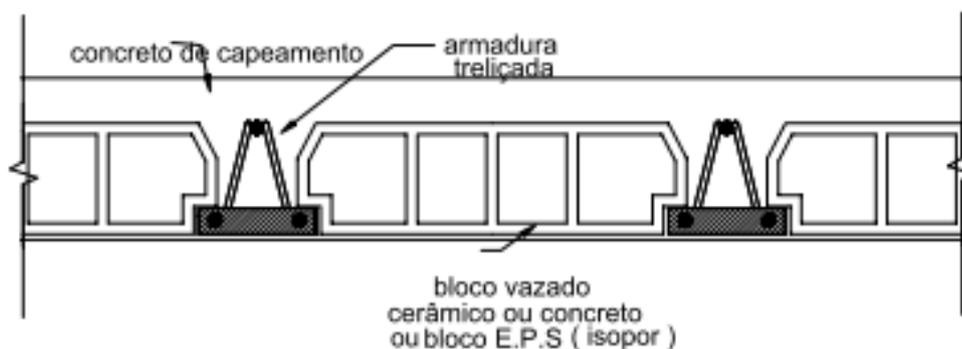
Este tipo de laje treliçada também é usualmente conhecida como Lajes Nervuradas treliçadas, sendo utilizado a mesma definição para as lajes de nervuras as quais a moldura é in loco.

As lajes treliçadas podem ser tratadas como estruturas monolíticas, devido à grande solidarização da armadura com o concreto moldado no local. De uma forma geral, estas lajes apresentam o mesmo funcionamento estrutural de uma laje nervurada moldada "in loco", sendo que a utilização dos elementos pré-moldados tem, no caso, função de racionalização na execução, proporcionando maior rapidez e economia para a execução da obra. (KLEIN, 2017, p.25)

A altura destas treliças são apresentadas pela NBR 14859-3, bem como o código de classificação da treliça, sendo composta por códigos as quais tem uma ordem que determinam a altura de treliça (H), bitola do banzo superior (BS), bitolas diagonais (D), bitola do banzo inferior (B). (SILVA, 2019).

Com relação aos tipos de vigotas utilizadas com treliças, as mesmas são formadas por uma armadura treliçada de aço e uma placa de concreto, a qual é envolvida por barras inferiores da treliça que fazem parte da armadura da face tracionado da laje, como observa-se na Figura 2.

Figura 2 - Laje treliçada.



Fonte: Merlin, 2002.

Suas aplicações, são comumente utilizadas em qualquer tipo de projeto, entretanto são muito utilizadas em construções habitacionais e comerciais, principalmente de pequeno porte, uma vez que elas vencem grandes vãos com quantidade mínima de altura, proporcionando uma agilidade na construção e andamento da obra, bem como diminuição nas etapas de produção e otimização da mão de obra, além da facilidade de execução. (FERREIRA, 2016).

Com relação a sua execução, a mesma inicia-se em seu transporte e manuseio, ao qual é importante uma vez que se torna de suma importância manter a integridade dos fios superiores, pois eles garantem a todo o sistema, assim seu transporte é feito através de içamento em dois a três pontos do vão. (ARCELOR MITTAL, 2019)

Com relação ao escoramento, é necessário um apoio firme da base bem como um altura que possibilite a contraflecha da laje treliçada ser regulada por meio do corpo regulador ou de cunhas. (ARCELOR MITTAL, 2019)

O posicionamento em serviço, é de suma importância a verificação de apoio das vigotas obedecendo as dimensões mínimas que deverão ser apoiadas, bem como

comprimento da ancoragem da armação adicional. A inserção dos elemento de enchimento devem ser executados em fileiras ortogonais ao sentido das vigotas, começando-se pelas duas fileiras mais externas e caminhando para o meio da laje. (ARCELOR MITTAL, 2019).

2.2 Lajes protendidas

As lajes pré-fabricadas protendidas são compostas nervuras pré-fabricadas em concreto protendido (vigotas) e elementos de enchimento (lajotas) que podem ser de cerâmica, concreto ou EPS. Após a montagem das vigotas com os elementos de enchimento e a armadura de distribuição, complementa-se a nervura com o concreto de capeamento da laje, segundo a NBR 14859-1 (ABNT, 2016).

As lajes protendidas está sendo atualmente um sistema utilizado em larga escala na construção de edifícios comerciais e residências, basicamente o sistema consiste em lajes planas tensionadas apoiadas diretamente sobre pilares, sendo a estabilidade global ocorrendo por meio de núcleos rígidos ou paredes de contraventamento. (JÚNIOR, 2015).

Dessa forma, as lajes protendidas, ou também chamadas de lajes com armaduras ativas, são aquela em que o aço passa pelo processo de protensão. Fazendo uma comparação entre as mais convencionais, estas são mais esbeltas e compreendem vãos maiores entre os apoios, uma vez que essa técnica “protensão” alonga os cabos e cordoalhas da armadura através de uma ação externa com macacos hidráulicos, garantindo assim esforços de tração permanente ao aço e maior compressão ao concreto. (BONAFÉ, 2018).

Pela definição da NBR 14859-1 (ABNT, 2016), vigotas de concreto protendido possuem seção de concreto formando um “T” invertido, com armadura pré-tensionada, totalmente englobada pelo concreto da viga.

A figura 3 abaixo, representa modelos de lajes protendidas utilizada em obras.

Figura 3 - Laje protendida.



Fonte: ATEX, 2018.

O desenvolvimento da tecnologia de protensão, certamente constitui-se em uma das mais importantes e melhores no campo da engenharia estrutural, e uma dessas melhores é a laje protendida. É notório que o seu efeito sobre a economia, o comportamento estrutural e os aspectos técnicos de uma solução em concreto, assim, este tipo de laje proporciona diversos benefícios como liberdade arquitetônica, vãos maiores, flexibilidade, ambientes amplos e livre de pilares, entre outros. A protensão promove a melhora da qualidade da estrutura, nos últimos anos graças a uma vivência bastante amadurecida, as características do concreto pretendido, vem sendo muito bem aproveitado também no campo das lajes pretendida, fato interessante porque cabe à laje uma parcela significativa do custo da estrutura. (EMERICK, 2002).

Assim, a utilização da laje protendida exige um projeto estrutural de qualidade, com diversas informações relacionadas a protensão, cabendo ressaltar a existência de diversas tecnologias relacionadas ao concreto pretendido para sua execução, (Laje Steel Deck protendida, Laje alveolar protendida, Laje treliçada protendida, Laje nervurada protendida, e Laje maciça protendida). Um fato importante é que a utilização de lajes protendidas só se faz válida e necessária caso queria-se alcançar vãos maiores, resistência de cargas mais elevadas ou até mesmo estruturas mais

esbeltas. Sua utilização indiscriminada, pode acarretar onerosidade para obra e ainda não colaborar de forma ideal para o funcionamento da estrutura (DALDEGAN, 2017).

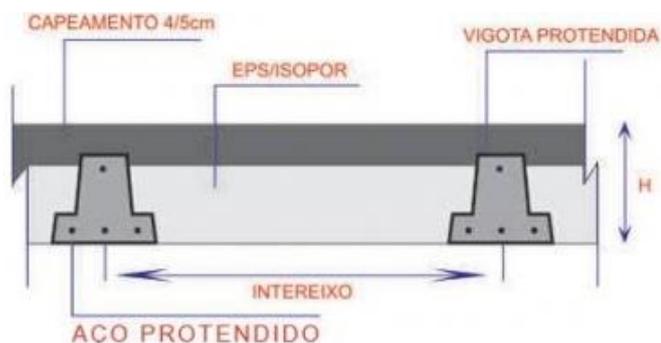
Sua aplicação na prática ocorre através de vigotas protendidas com EPS ou cerâmica, após isso é feita a concretagem de toda a laje como verifica-se na figura 4 e 5.

Figura 4 - Execução de Laje protendida.



Fonte: DAN, 2020.

Figura 5 - Demonstração da laje protendida.



Fonte: Vibrom, 2020.

Assim, o artifício da protensão move-se a faixa de trabalho do concreto para o âmbito das compressões, em que o material é mais eficiente, com a protensão são aplicadas tensões de compressão nas áreas da secção tracionadas pelas solicitações dos carregamentos, portanto através da manipulação das tensões internas, obtém-se a contribuição da área total da secção da viga para a inércia da mesma.

2.3 Ferramenta computacional Eberick

As ferramentas computacionais para os engenheiros projetista foram se ampliando com o passar do tempo, a variedade de programas ao qual o mesmo pode utilizar é enorme.

Lima, Martins e Jorgino (2019), destacam que o cálculo estrutural, mais conhecido como projeto estrutural, é basicamente o dimensionamento das estruturas que serão capazes de sustentar a edificação e transmitir seus esforços ao terreno, compreendendo estas premissas, para ser considerado um projeto estrutural é de suma importância possuir vigas, pilares, e um tipo de fundação, seja de bloco, sapatas, entre outros.

O Eberick dimensiona os elementos estruturais, onde o sistema verifica os elementos para o Estado Limite Último e de Serviço (ELU e ELS), de acordo com as normas brasileiras. Os resultados de dimensionamento são apresentados em janelas específicas, que demonstram os esforços e os resultados de armaduras (ALTOQI, 2020).

Na ferramenta computacional, é possível analisar todas as informações, como gama Z, além de conter dados sobre deformações de estrutura, pórtico 3D, esforços na estrutura, tipos de vínculos, como os engastados, semirrígidos, rotulados, além do quantitativo e custos de material, como fôrmas, volume de concreto, entre outros.

O software disponibiliza a versão demonstrativa para estudos, entretanto não existe a possibilidade de salvar o arquivo.

Tabela 1 - Módulos do pacote top Eberick.

Fundações	Lajes	Vigas
Tubulões	Lajes nervuradas	Vigas curvas
Lançamento de estadas isoladas	Lajes treliçadas 1D e 2D	Vigas com mesa colaborante
Blocos com mais de 6 estacas	Região maciça em lajes	Vigas com variação de seção no vão
Radier	Lajes planas	Aberturas em vigas e lajes
Estacas metálicas	Lajes com vigotas protendidas	
Planta de locação das estacas	Plastificação das lajes	Elementos gerais
Vínculos elásticos para fundações	Editor das grelhas	Memorial de cálculo
Sapatas corrida em apoio elástico		Biblioteca de detalhes típicos
Fundações associadas	Paredes e reservatórios	Verificação em situação de incêndio
	Paredes de contenção	Concreto de alto desempenho
Elementos inclinados	Reservatórios elevados	Integração com Adapt
Rampas	Reservatórios enterrados	Efeito dinâmico devido ao vento
Pilares e vigas inclinados		Exportação para o SAP 2000
Escadas especiais		
	Muros	Pilares
	Muros de concreto	Pilares com seção composta
	Muros de gravidade	Pilares esbeltos e pilares-parede

Fonte: ALTOQI, 2019.

Verificando a tabela 1 acima, observa-se que com o pacote versão top com 37 módulos aplicativo Eberick. Compreenda assim que o programa é de suma importância para os dias atuais, onde tudo é calculado de forma rápida e eficiente, sendo que para isso, deve-se ter um conhecimento em concreto armado, que é uma técnica na atualidade que o engenheiro deve saber dimensioná-lo e detalhar todos os elementos de maneira correta da estrutura afim de conseguir sucesso na sua construção, garantindo qualidade, segurança e credibilidade. (Santos & Silva, 2018).

2.4 Estabilidade global da estrutura gama Z

O gama Z é um parâmetro criado para avaliar a estabilidade global de uma estrutura de concreto armado, onde sua criação foi feita por dois engenheiros brasileiros o Eng^o. Augusto Carlos de Vasconcelos e Eng^o. Mário Franco).

Este parâmetro é o processo de simplificar a estabilidade global e os efeitos de segunda ordem, multiplicando o momento de primeira ordem por um coeficiente y_z . Em casos especiais, este procedimento simplificado não deve ser aplicado, em um caso de exemplo, é quando se tem vigas de transição e nessa estrutura já existem deslocamentos devido as cargas verticais. (VASCONCELOS, 2000).

São vários fatores que influenciam na estabilidade global da estrutura, uns mais significativos do que outros. Segundo o Eng^o. Alio Ernesto KIMURA são combinações de ações, entre elas as permanentes que são: peso próprio, revestimento, empuxos permanentes, retração do concreto, deslocamentos de apoio, entre outros. E as ações variáveis que são: Cargas acidentais de uso, vento, ações dinâmicas, água e variações de temperatura.

Na NBR 6118:2014 o item 15.4.2 classifica dois tipos de nós nas estruturas:

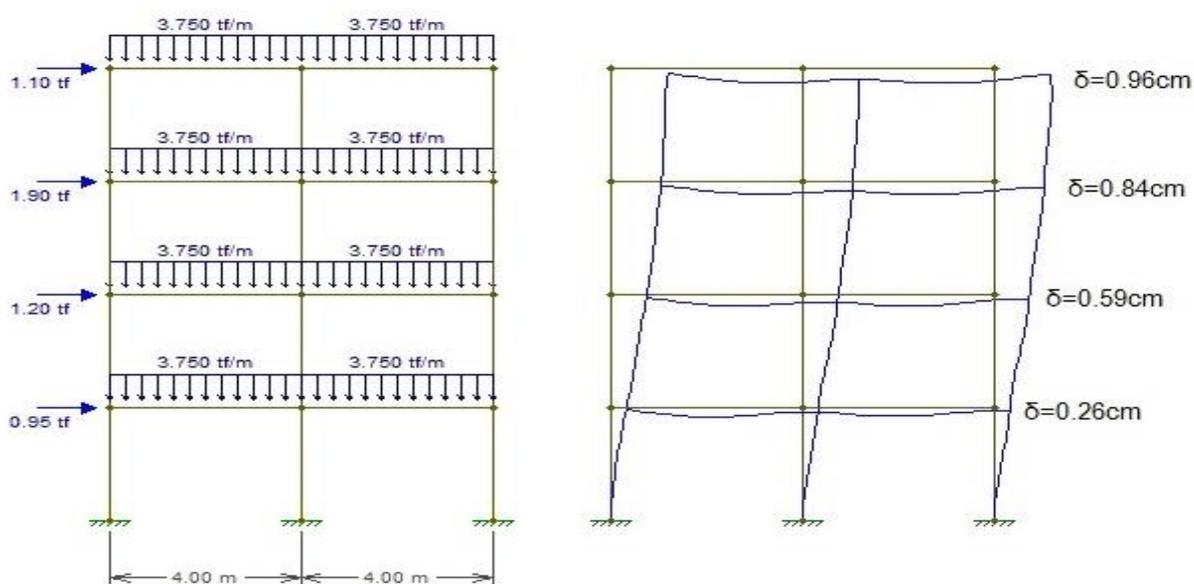
- Estruturas de nós fixos – Gama Z ≤ 1.1 : os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis e podem ser desconsiderados (inferiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, permite-se considerar apenas os efeitos locais de 2ª ordem;
- Estruturas de nós móveis – Gama Z >1.1 : os efeitos globais de 2ª ordem são importantes (superiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, deve-se obrigatoriamente considerar tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais.

A estabilidade global está ligada ao sistema de contraventamento. A estrutura de pórtico rígido é o econômico para estruturas de até 25 pavimentos, pois acima disso a alta flexibilidade lateral do pórtico necessita de membros com seções transversais maiores para controlar os deslocamentos laterais (SMITH; COULL, 1991).

Este sistema consiste na resistência à flexão dos elementos do pórtico (pilares e vigas) com sua conexão rígida. A deflexão provocada pela carga lateral produzirá forças cortantes transversais nos pilares e vigas (ENGEL, 2002).

A figura 6 apresenta um pórtico no qual há ações horizontais e verticais, ao lado demonstra os resultados do gama Z da estrutura.

Figura 6 - Pórticos com cargas horizontais e verticais.



Fonte: Kirsten, 2020.

2.5 Avaliações de flechas nas lajes

A flecha é o deslocamento perpendicular de uma estrutura de concreto, como lajes e vigas, onde a distância é medida entre a estrutura antes e depois de sofrer deformações, onde tudo isso é envolvido por uma série de fatores, sendo o comprimento do vão, seção, cargas, elasticidade do material. Onde esses valores são determinados pela NBR 6118:2014 que visa permitir o uso adequado e correto da estrutura, entre outros.

As flechas máximas admitidas são definidas pela NBR 6118 (item 13.3), “são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura.” Onde estes deslocamentos são classificados entre quatro grupos, como mostra a seguir:

- “Aceitabilidade sensorial: o limite é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável. A limitação da flecha para prevenir essas vibrações, em situações especiais de utilização, deve ser realizada como estabelecido na Seção 23;
- Efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- Efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados;
- Efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.”

Na tabela 2 são dados os valores-limites de deslocamento que visam proporcionar um adequado comportamento da estrutura em serviço.

Tabela 2 - Limites para deslocamentos.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell/350+$ contraflecha ^b
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400^g$ e 15 mm

Fonte: NBR 6118:2014.

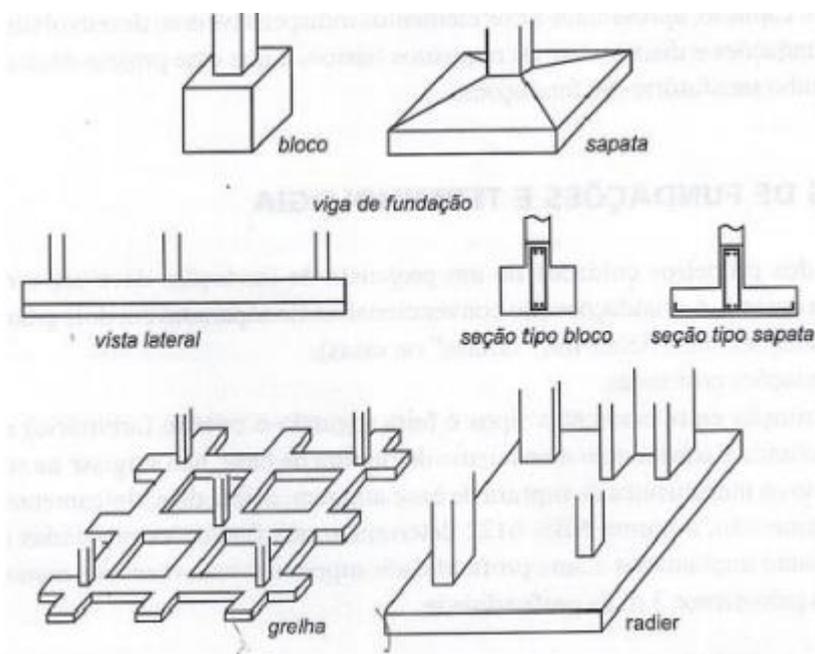
2.6 Fundações

Toda a estrutura de uma edificação tem um sistema de absorver todo o carregamento e transmitir ao solo. Sendo que a laje passa o carregamento para as vigas, que passa aos pilares e por fim as fundações. A estrutura é subdividida, onde a fundação é considerada infraestrutura e do solo para cima é considerado superestrutura. A fundação é uma das partes primordiais da obra e está vinculada a fatores econômicos, técnicos, além do tipo de solo. Existem três tipos de fundações, onde elas dividissem em superficiais, profundas e mistas (onde há os dois tipos) de acordo com a NBR 6112/2019.

A fundação superficial são as que a carga é transmitida ao solo por pressões distribuídas sob a base das fundações, onde a profundidade de assentamento em

relação ao terreno adjacente é inferior a duas a menor dimensão da fundação. Existem os blocos, sapatas, viga de fundação, grelha, radier, sapatas associadas e sapatas corridas NBR 6112/2019.

Figura 7 - Tipos de fundações superficiais.



Fonte: Velloso e Lopes, 2004.

As fundações profundas têm o propósito de solucionar problemas quanto a solos de baixa capacidade de carga ou estão sujeitos a processos erosivos. A NBR 6112/2019 define a fundação profunda aquela que transmite a carga proveniente da superestrutura ao solo pela base, pela lateral ou pelas duas. Os tipos de fundações que se enquadram:

- Estacas: elemento de fundação profunda executado com o auxílio de ferramentas ou equipamentos sem que haja descida de operário em qualquer fase de execução (cravação a percussão, prensagem, vibração, ou por escavação, etc), podendo ser constituído de madeira, aço, concreto, etc;
- Tubulões: elemento cilíndrico de fundação profunda que, em pelo menos na sua fase final, ocorre descida de operário, podendo ser executado a céu aberto ou a ar comprimido, e ter ou não, a base alargada;

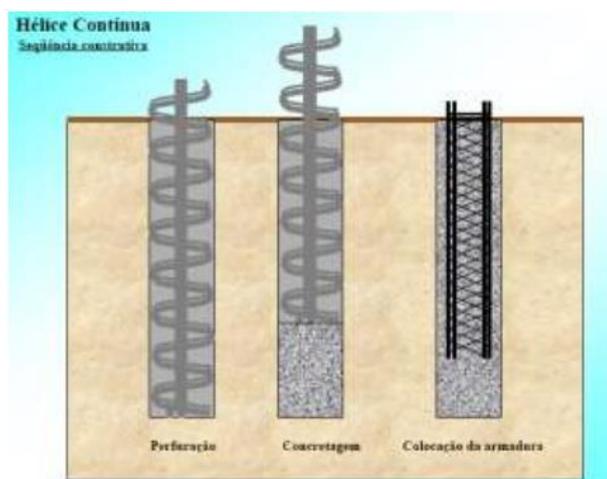
- Caixões: elemento de fundação de forma prismática, concretado na superfície do terreno, e instalado por escavação interna, podendo-se ainda na sua instalação usar, ou não, ar comprimido, e ter, ou não, a sua base alargada.

O vínculo engastado o nó inferior da fundação é restringido tanto ao deslocamento como à rotação em X, Y e Z. A utilização desse tipo de engastamento acarreta em fundações com custo mais alto, entretanto em estruturas mais econômicas devido a possibilidade de ocorrer momentos fletores no nó de base da fundação provenientes da estrutura. Este tipo de vínculo melhora o sistema de contraventamento da estrutura deixando mais rígida, diminui os deslocamentos horizontais excessivo (AltoQi,2020).

Um das estacas é tipo hélice contínua que é de concreto armado e moldado in loco, é executada por meio de trado contínuo e injeção de concreto, é controlada a pressão, ao mesmo hélice perfura e retira simultaneamente. A capacidade de cargas dessas estacas pode ser feita com o ensaio de capacidade de carga do solo SPT, com isso é utilizada os métodos de cálculo do Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996).

Figura 8 - Hélice contínua.

Fases: Perfuração; Concretagem; Colocação da armadura.



Fonte: Marinho, F. Mecânica dos Solos e Fundações – USP, 2008.

2.7 Trabalhos relacionados com o tema

2.7.1 Trabalho de Carvalho, 2012

Neste trabalho foi realizado uma análise teórica comparativa estrutural e econômica, entre as lajes maciça, treliçada e nervurada com cuba plástica. Objetivo foi definir os critérios econômicos, realizar uma análise comparativa técnica e econômica, e limitar o gama Z em 1,10. Foi utilizado o software Eberick v7 para o dimensionamento, o projeto utilizado foi um edifício de 10 pavimentos, com pé direito de 2,88 m, localizado na cidade Feira de Santana. Foi utilizado tijolo cerâmico furado de 13 kN/m³, concreto armado: 25 kN/m³, todas as lajes com carga permanente de 1 kN/m² de revestimento, carga acidental de 1,5 kN/m² e utilizou a velocidade básica de 30 m/s.

O consumo de materiais e estabilidade do gama z, nas lajes maciças com espessura adotada de 12 cm, resistência de 30 MPa, lajes nervuradas com vigotas treliçadas com 16 cm e laje nervurada com cuba plástica com 30 cm, os resultados obtivos nas tabelas abaixo:

Tabela 3 - Consumo de material.

	Laje maciça	Laje nervurada com vigota treliçada	Laje nervurada com cuba plástica
Concreto (m ³)	425,4	342	449,5
Aço (kg)	49445,4	26265,7	35677,8
Fôrma de madeira (m ²)	4719,7	3444,7	4513,59
Taxa de aço (kg/m ³)	116,2	76,8	79,4

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2012.

Tabela 4 - Parâmetros de estabilidade (gama z).

	Direção X	Direção Y
γZ	1,10	1,10

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2012.

A laje nervurada com cubas plásticas foi o sistema estrutural que mais consumiu concreto, isso se deve a elevada espessura de laje e o aumento das seções dos pilares nas regiões de escada e elevador, a fim de limitar o gama Z em 1,10. Com base no custo, a alternativa com laje pré-moldada apresenta o menor custo em relação às outras duas alternativas. A estrutura com laje maciça teve o custo maior de 11,28%, já a estrutura com lajes nervuradas com cubas plásticas teve o custo maior de 6,72%, ambos quando comparadas com a laje nervurada com vigotas treliçadas.

2.7.2 Trabalho de Marçal, 2014

Neste trabalho verificou as flechas e o consumo de materiais entre lajes maciças e com vigotas treliçadas

Com isso, foi utilizado um edifício de 4 pavimentos e em que cada pavimento tem 9 painéis de lajes, a altura total do edifício é de 12 metros. Os vãos variam de 5 a 7 metros para as análises das flechas. Foi utilizado para os cálculos o software CAD/TQS, e o método de Czerny.

Tabela 5 - Comparação de volume de concreto (m³).

	MACIÇA - TAB	MACIÇA - TQS	TRELIÇADA - TQS
L1=L3=L7=L9	2,837	2,837	1,454
L2=L8	3,998	3,998	2,078
L4=L6	3,937	3,937	2,047
L5	5,549	5,549	3,401

Fonte: Adaptado de Marçal, 2014.

Tabela 6 - Comparação área de aço (cm²/m).

	MACIÇA - TAB	MACIÇA - TQS	TRELIÇADA - TQS
L1=L3=L7=L9	9,496	10,620	5,018
L2=L8	11,432	12,556	5,018
L4=L6	11,120	11,432	5,018
L5	13,368	13,680	6,792

Fonte: Adaptado de Marçal, 2014.

Tabela 7 - Comparação das flechas.

	MACIÇA - TAB	MACIÇA - TQS	TRELIÇADA - TQS
L1=L3=L7=L9	0,17	0,29	0,21
L2=L8	0,27	0,52	0,56
L4=L6	0,25	0,49	0,59
L5	0,4	0,9	0,92

Fonte: Adaptado de Marçal, 2014.

Observando-se a da tabela 5, houve uma diferença no concreto com cerca de 50% a mais nas lajes maciças. A tabela 6 apresentada, há uma diferença entre a área de aço, onde a laje treliçada precisa de apenas metade do que a outra, onde pode ser que as treliçadas não necessitam de armaduras negativas, pois são bi apoiadas, além do peso da treliçada ser menor.

Na tabela 7 há uma diferença apresentada nas lajes maciças, onde pelo cálculo das tabelas de Czerny resultou em deslocamentos imediatos cerca de 50% a menor do que pelo TQS, essa diferença pode ser pelo fato de que neste considera as vigas para o cálculo. No entanto, esta comparação entre as lajes pelo TQS, as flechas são parecidas. Apesar de que tenha uma diferença entre os deslocamentos imediatos nestes métodos, as lajes ficaram de acordo com os limites sensoriais dados pelas normas.

2.7.3 Trabalho de Rosa, 2017

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa entre lajes maciças e lajes de vigotas treliçadas em um edifício de treze pavimentos, residencial Jasmim dos Poetas, localizado em Santa Catarina, no qual tem como objetivo realizar uma análise comparativa de custos entre os sistemas estruturais de lajes maciças e lajes de vigotas treliçadas.

Foi utilizado os seguintes dados para o lançamento das lajes, carga accidental 300 kgf/m² (com acesso ao público) , 150 kgf/m² (edifícios residenciais), revestimento com 183,5 kgf/m², espessura de laje de 12 cm e carga de vento de 42 m/s. Foi utilizado a classe de agressividade III, onde lajes contém 35 mm, pilares e fundação 40 mm de cobertura e concreto de 30 MPa.

Após o processamento da estrutura, obtiveram os resultados dos custos de materiais de cada laje, segue a tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Comparativo total de custos em Reais (R\$).

SISTEMAS ESTRUTURAIS	CUSTO TOTAL	DIFERENÇA	VARIAÇÃO (%)
Estrutura com lajes maciças	R\$ 901.187,32	R\$ 0,00	100,00
Estrutura com lajes de vigotas treliçadas	R\$ 861.789,30	R\$ 39.398,02	4,372

Fonte: Adaptado de Rosa, 2017.

Analisando os custos totais dos sistemas propostos, constatou-se que o sistema estrutural com lajes de vigotas treliçadas e enchimento de EPS, onde apresentou o menor custo entre as duas lajes, teve uma redução de 4,37% no valor total da estrutura, conforme apresentado na tabela 8.

2.7.4 Trabalho de Antunes, 2017

Este trabalho foi feito uma comparação no qual dimensionou e detalhou o pavimento tipo pelo software TQS, no qual o objetivo foi fazer uma comparação entre o consumo de aço, concreto e fôrma, analisar os deslocamentos máximos obtidos, analisar as alterações na distribuição de cargas e analisar os esforços solicitantes. Os dimensionamentos foram feitos para as lajes nervuradas em concreto armado, unidirecional e bidirecional, fazendo uma comparação entre os sistemas estruturais.

Para o dimensionamento das lajes maciças foram utilizadas lajes com espessuras de 8 e 10 cm, para as lajes unidirecionais treliçadas foi utilizado bloco EPS, sendo assim a altura total para todas as lajes 15 cm, sendo a capa de 7 cm. Para as lajes bidirecionais treliçadas que são lajes com nervuras de travamento, a qual é colocada perpendicular à vigota para dar estabilidade lateral e combater a deformação diferenciada, essas lajes foram utilizadas de blocos de enchimento de cerâmica com espessura de 12 cm, sendo 4 cm de capa.

As flechas para os maiores vãos de todos os tipos de lajes: laje maciça com vão de 541,00 cm a flecha foi de 1,90 cm onde o limite era 2,16 cm, sendo aprovada,

laje unidirecional vão de 541,00 cm a flecha foi de 9,49 cm onde o limite era de 2,16 cm, sendo reprovada, laje treliçada bidirecional com bloco cerâmico vão de 541,00 cm e flecha de 5,61 cm com limite de 2,16 cm, sendo reprovado. Sendo assim, para evitar que as flechas excedam o limite seria alterar a parte estrutural do edifício para suportar os esforços solicitantes, podendo aumentar a espessura da laje ou alterar a distribuição das lajes.

O consumo de materiais para lajes maciças com vigas e pilares teve um total de 218,8 m³ de concreto, para lajes com treliça unidirecional 211,6 m³ e para lajes com treliça bidirecional com bloco cerâmico 209,8 m³. Sendo assim, as lajes com treliça bidirecional tiveram o menor consumo.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo

Em conformidade com (Prodanov & Freitas, 2013), esse estudo pode ser classificado quanto a natureza, como forma aplicada, quanto ao tipo de abordagem, é de forma quantitativa, quanto ao objetivo metodológico, de forma explicativa, por identificar os fatores que causam um determinado fenômeno e quanto ao procedimento metodológico, é uma pesquisa teórica, pois determina um objeto de estudo, seleciona as variáveis, define as formas de controle e de observação dos efeitos que cada variável produz.

3.2 Caracterizações gerais

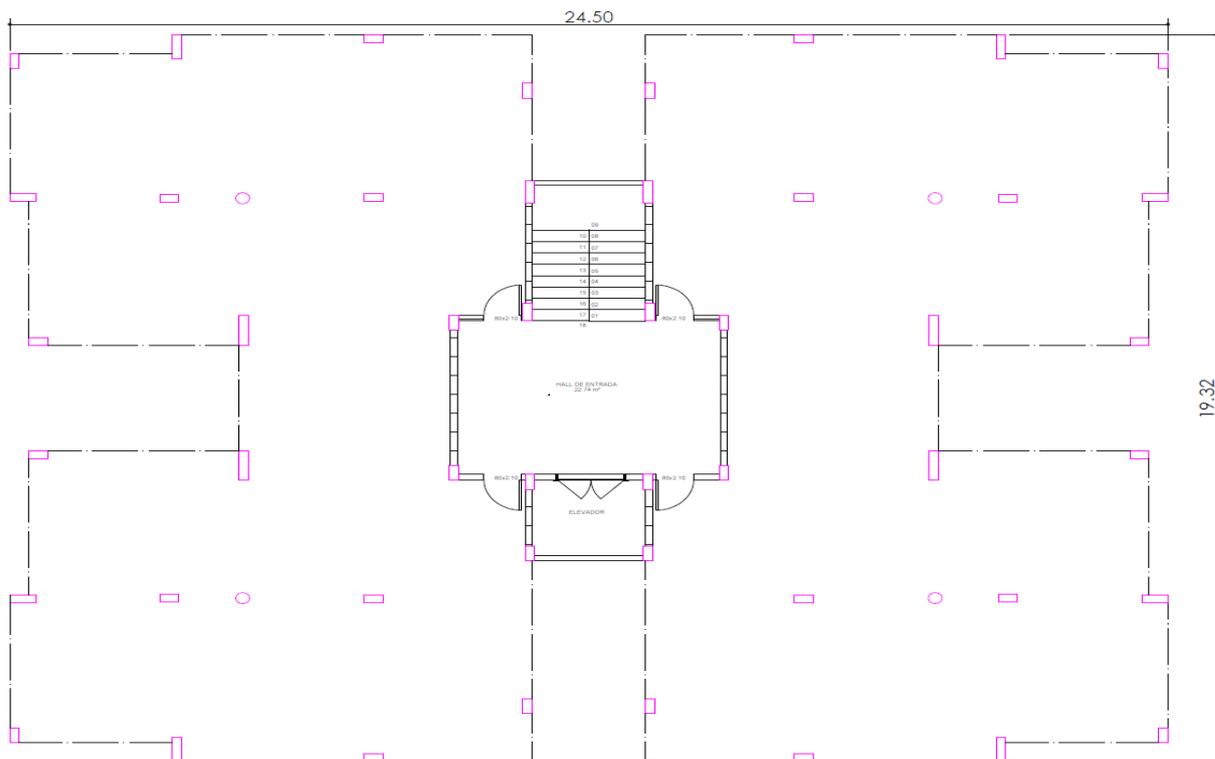
O projeto foi uma análise comparativa entre dois tipos de lajes, sendo uma com vigotas protendidas e outra treliçadas.

Para atingir os objetivos foram utilizados dois programas, sendo o AltoQi Eberick e o AutoCAD. Sendo que o AutoCAD foi utilizado para trabalhar na parte do projeto arquitetônico no formato DWG, que serviu para exportar o arquivo para o AltoQi Eberick, sendo ele o programa utilizado para dimensionar o projeto estrutural.

3.3 Especificações do projeto

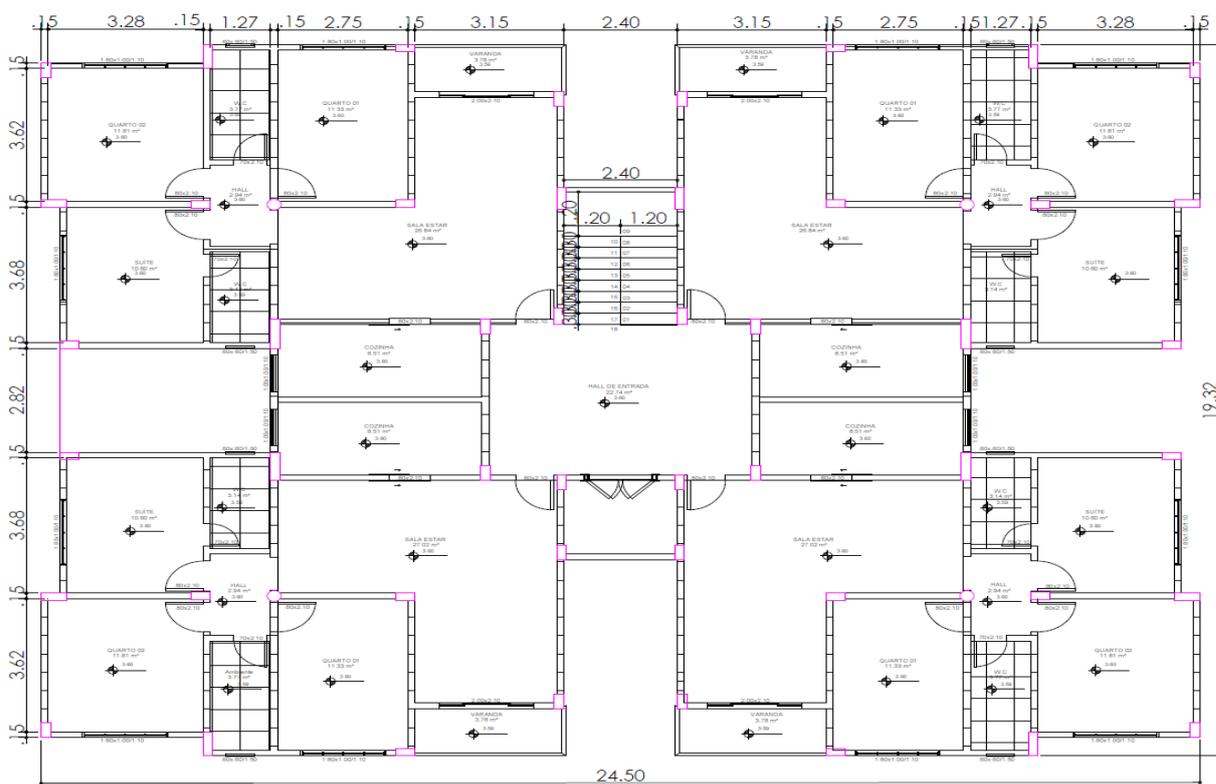
Primeiramente, para a execução do cálculo estrutural, foi colocado em prática o projeto arquitetônico realizado pelo próprio autor. O projeto trata-se de um edifício multifamiliar, localizado em Palmas no Tocantins. O mesmo é composto pelo térreo, 6 pavimentos tipo, cobertura e barrilete. Sendo em que o térreo é caracterizado pelo estacionamento, a cobertura com platibanda, o barrilete com reservatórios de água para consumo e reserva técnica de incêndio e os pavimentos tipo edificados com 4 apartamentos semelhantes por andar, totalizando 24 apartamentos no projeto.

Figura 9 - Posição dos pilares do pavimento térreo.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 10 - Posição dos pilares do pavimento tipo.



Fonte: Autor, 2020.

Referindo-se a esse projeto, o tamanho em metros quadrados de cada pavimento contém 410.88 m² e o barrilete com 41.24 m², sendo assim o projeto totaliza em uma de área 2.917,40 m².

A estrutura foi dimensionada a partir dos dados fornecidos em planta no projeto arquitetônico, sendo assim os dados estruturais, como seções de pilares e vigas foram definidas, sendo alguns pilares com seções de $b_w = 20\text{cm}$ e $h = 40\text{cm}$ de menores dimensões e de maior dimensões tem medidas de $b_w = 20\text{ cm}$ e $h = 80\text{cm}$.

Todas as paredes da edificação em alvenaria de vedação, sendo com espessura de 15 cm, com peso de 1300 kgf/m³, (NBR 6120, ABNT, 2019), com pé direito do pavimento de 3,10 m, com platibanda de 1 metro e barrilete de 3,30 m, totalizando 27,40 m a altura total da edificação. Em planta a dimensão maior é de 24,50 m e a altura é 19,32 m. Segue a figura 11 de uma fachada frontal:

Figura 11 - Fachada frontal.



Fonte: Autor, 2020.

No dimensionamento das lajes, foram utilizados dois tipos de lajes, sendo lajes pré-fabricadas com vigotas protendidas e treliçadas. Na fundação foram utilizados blocos com estacas.

Os carregamentos utilizados para as lajes foram de acordo com grupo residencial, classificados como dormitórios, corredores dentro das unidades, sala, sanitário, cozinha, corredores de uso comum, cobertura e barrilete. Segue a tabela 9 com as cargas.

Tabela 9 - Cargas das lajes.

CARGAS RESIDENCIAIS	ACIDENTAL (kgf/m ²)	REVESTIMENTO (kgf/m ²)
Dormitórios	150,00	154,50
Corredores unidades	150,00	154,50
Sala	150,00	154,50
Sanitário	150,00	181,50
Cozinha	150,00	181,50
Corredores uso comum	300,00	154,50
Cobertura	100,00	181,50
Barrilete	1600,00	100,00

Fonte: O próprio autor, 2020.

3.4 Configurações de materiais e durabilidade

Para as configurações de materiais e durabilidade, serão adequados os seguintes parâmetros para o dimensionamento:

- Classe de agressividade: II (moderada);
- Dimensão do agregado: 19mm;
- Resistência do concreto 30 Mpa;
- Cobrimento de peças externas: 3 cm;
- Cobrimento de peças internas: 3 cm;
- Cobrimento de peças em contato com o solo: 4,5 cm;
- Abertura máxima de fissuras em contato com a água: 0,1 mm;
- Abertura máxima de fissuras em contato com o solo: 0,2 mm;
- Abertura máxima de fissuras das demais peças: 0,3 mm;
- Umidade relativa do ar: 70%;
- Vida útil prevista: 50 anos;
- Início do carregamento: 28 dias;
- Peso específico: 2500 kgf/m³.

3.5 Avaliações

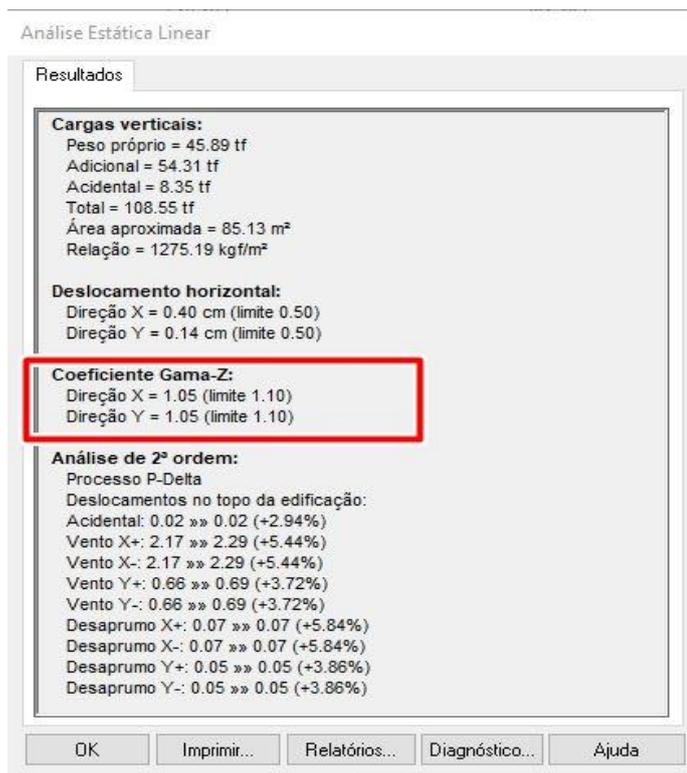
3.5.1 Avaliação do gama Z (γ_z)

A avaliação do gama Z foi após o processamento total da estrutura, sendo assim possível visualizar os resultados dos valores do gama z nas direções x e y. Sendo que há uma diferença entre os valores de nós fixos e nós móveis, onde os fixos o limite é 1.10. Se caso, der até 1.10 o programa despreza os esforços de segunda ordem, se ultrapassar 1.10 o programa automaticamente considera os esforços de segunda ordem. Segue a figura 12 abaixo onde apresenta os resultados do gama Z de uma estrutura.

A ação horizontal considerada foi a do vento, com as características:

- Velocidade de 42m/s;
- Topografia 1,0 (S1);
- Rugosidade do terreno categoria III;
- Fator estatístico 1,0 (S3);

Figura 12 - Onde é extraído o resultado de gama Z.

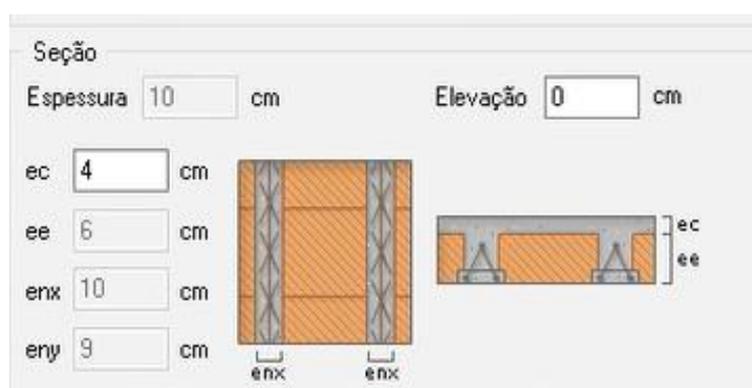


Fonte: O próprio autor, 2020.

3.5.2 Deformações das lajes (flechas)

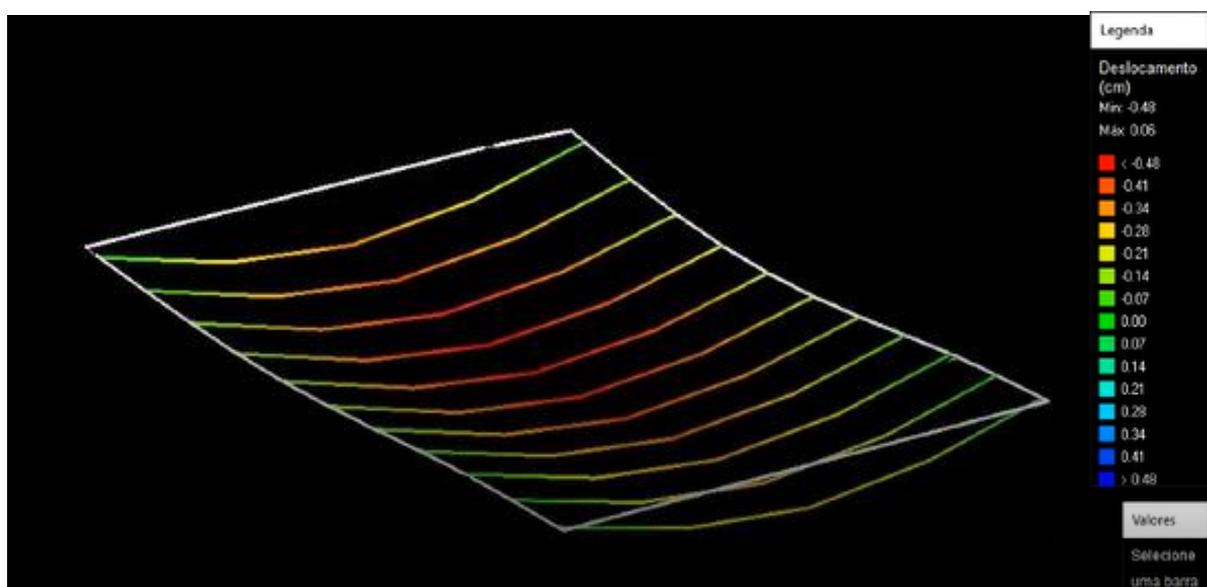
A análise de deformações das lajes é feita após processar a estrutura com as opções de “Determinação dos deslocamentos do pórtico” e “Determinação dos deslocamentos das lajes”, para que assim tenha uma análise dos deslocamentos das lajes de forma mais exata, considerando a perda de rigidez dos elementos da estrutura devido a fissuração. Após isso, na janela de dimensionamento das lajes do pavimento, pode-se verificar os deslocamentos que ocorrem nas lajes deste pavimento.

Figura 13 - Demonstração das dimensões das vigotas.



Fonte: O próprio autor, 2020.

Figura 14 - Deslocamentos das lajes.



Fonte: O próprio autor, 2020.

3.5.3 Esforços nas fundações

A análise dos esforços da estrutura se baseia na modelagem da estrutura através de um pórtico espacial composto por vigas e pilares. Todos esses tipos de vinculação mudam o comportamento da estrutura, sendo que seja bem definida, sobretudo nos vínculos das fundações com o solo. O vínculo pode ser definido na janela de lançamento de fundação, como mostra a figura 15 a seguir.

Figura 15 - Janela de lançamento de fundação.

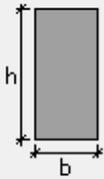
Pilar de fundação

Pilar
 Nome Ambiente

Modelo
 Altura barra cm Vínculo pilar
 Vínculo apoio

Seção do pilar
 Tipo
 b cm h cm
 b1 cm h1 cm
 Ângulo de abertura °
 Ângulo de rotação °
 Elevação cm Manter seção constante na prumada

Fundação
 Bloco Sapata Tubulão Divisa
 Associação ...
 Rotação
 Ângulo °
 Profundidade (df) cm
 Altura do arranque (ha) cm



Fonte: O próprio autor, 2020.

No projeto foi utilizado o tipo de vinculação engastado nas fundações. Sendo que no engastamento, são travados os deslocamentos em todos os sentidos, verticais, horizontais e a rotação, sendo assim, esse vínculo por considerar no processo de redistribuição dos esforços da estrutura a capacidade do solo em resistir à momentos

fletores. Segue abaixo na figura 16 de como extrair os resultados dos momentos gerados nas fundações.

Figura 16 - Dimensionamento dos blocos.

Dimensionamento [Blocos]

Pilares Pilares PM Vigas Vigas PM Lajes Sapatas **Blocos** Muros

Estacas

Seção padrão: circular

Escolher estacas usando: área

Espaçamento mínimo entre as estacas (x Ø): 3

Permitir estaca tracionada

Percentagem da resistência à compressão: 5 %

Propriedades...

Dimensões

Cobrimento mínimo: 15 cm

Cobrimento mínimo no pilar: 0 cm

Altura útil mínima: 30 cm

Altura útil maior que a espera do pilar

Biela

Multiplicadores da resistência

Verificação junto ao pilar: 0.85

Verificação junto a estaca (CCT): 0.72

Verificação junto a estaca (CTT): .6

Ângulo mínimo das bielas: 45 °

Ângulo máximo das bielas: 55 °

Armadura... Coeficientes...

Formatos... Tubulões...

Esforços

Coeficiente adicional: 1.2

OK Cancelar Ajuda

Fonte: O próprio autor, 2020.

Para as configurações do dimensionamento, de acordo com a sondagem realizada em Palmas no Tocantins, a característica de solo encontrada até 10 metros de profundidade foi tipo solo silte arenoso. Segue a tabela 10 da sondagem.

Tabela 10 - Sondagem SPT.

ENSAIO PENETRO- MÉTRICO (Golpes/cm)	Número de Golpes (30 cm finais)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						Cota em Relação ao R.N. Amostras	Profun- didade da Camada	REVESTIMENTO: Ø 63.5 mm AMOSTRADOR: { Ø INTERNO: 34.9 mm Ø EXTERNO: 50.8 mm PESO: 65 Kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm		
		AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK									NÍVEL D'ÁGUA	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA
		10	20	30	40	50	60					
1 1 3 15 15 15	4							0.55	Areia fina a média siltoosa, marrom avermelhado. Silte arenoso, com mica, fofo a compacto, cinza esverdeado.			
1 2 3 15 15 15	5							1				
2 3 5 15 15 15	8							2				
3 4 6 15 15 15	10						95	3				
4 5 8 15 15 15	13							4				
3 4 7 15 15 15	11							5				
4 8 11 15 15 15	19							6				
8 13 19 15 15 15	32							7				
11 15 17 15 15 15	32						90	8				
8 18 21 15 15 15	39							9				
								10	10.45			
OBS: Limite da sondagem.												

Fonte: Empresa de Palmas-TO, 2020.

Utilizando os dados do ensaio de sondagem SPT, foi dimensionado a capacidade de carga das estacas tipo hélice contínua com até 10 metros de profundidade, utilizando o método de Aoki-Velloso de 1975, com a planilha elaborada pelo Eng. Civil Tobias Ribeiro Ferreira em sua formação pela Universidade Federal de Goiás. Segue a tabela 11 com os resultados da capacidade de carga.

Tabela 11 - Dimensionamento das estacas.

MÉTODO AOKI VELLOSO (1975)									
<i>Dados do Cálculo</i>									
<i>Estaca</i>	<i>Tipo</i>	<i>Diâmetro (cm)</i>	<i>Comp. (m)</i>	<i>F.S (Global)</i>					
Moldada in-loco	Hélice Contínua	35	10	2					
<i>% Resistência de ponta</i>		<i>% Resistência lateral</i>							
100		100							
RESULTADOS									
<i>Profundidade (m)</i>	<i>K (kPa)</i>	<i>α</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>R_p na camada (kN)</i>	<i>R_L por metro (kN)</i>	<i>R_L acumulada (kN)</i>	<i>R_{Total} do solo (kN)</i>	<i>P_{Adm} (kN)</i>
1	550	0,022	2	4	105,83	13,30	13,30	119,14	59,57
2	550	0,022	2	4	132,29	16,63	29,94	162,23	81,11
3	550	0,022	2	4	211,66	26,61	56,54	268,21	134,10
4	550	0,022	2	4	264,58	33,26	89,81	354,39	177,19
5	550	0,022	2	4	343,96	43,24	133,05	477,00	238,50
6	550	0,022	2	4	291,04	36,59	169,63	460,67	230,34
7	550	0,022	2	4	502,70	63,20	232,83	735,54	367,77
8	550	0,022	2	4	846,66	106,44	339,27	1185,93	592,96
9	550	0,022	2	4	846,66	106,44	445,71	1292,36	646,18
10	550	0,022	2	4	1031,87	129,72	575,43	1607,29	803,65

Fonte: O próprio autor, 2020.

3.5.4 Custos totais dos materiais

O comparativo de custos dos materiais, é gerado para que tenha uma relação entre o volume em m³ de concreto, área de fôrma, consumo e peso de aço. Sendo assim, para analisar a diferença entre os valores da estrutura com lajes treliçadas e protendidas foi gerado o quantitativo, após o processamento, em “estrutura” e “resumo de materiais”, com esse resumo foi gerado uma planilha com todo o quantitativo e custo.

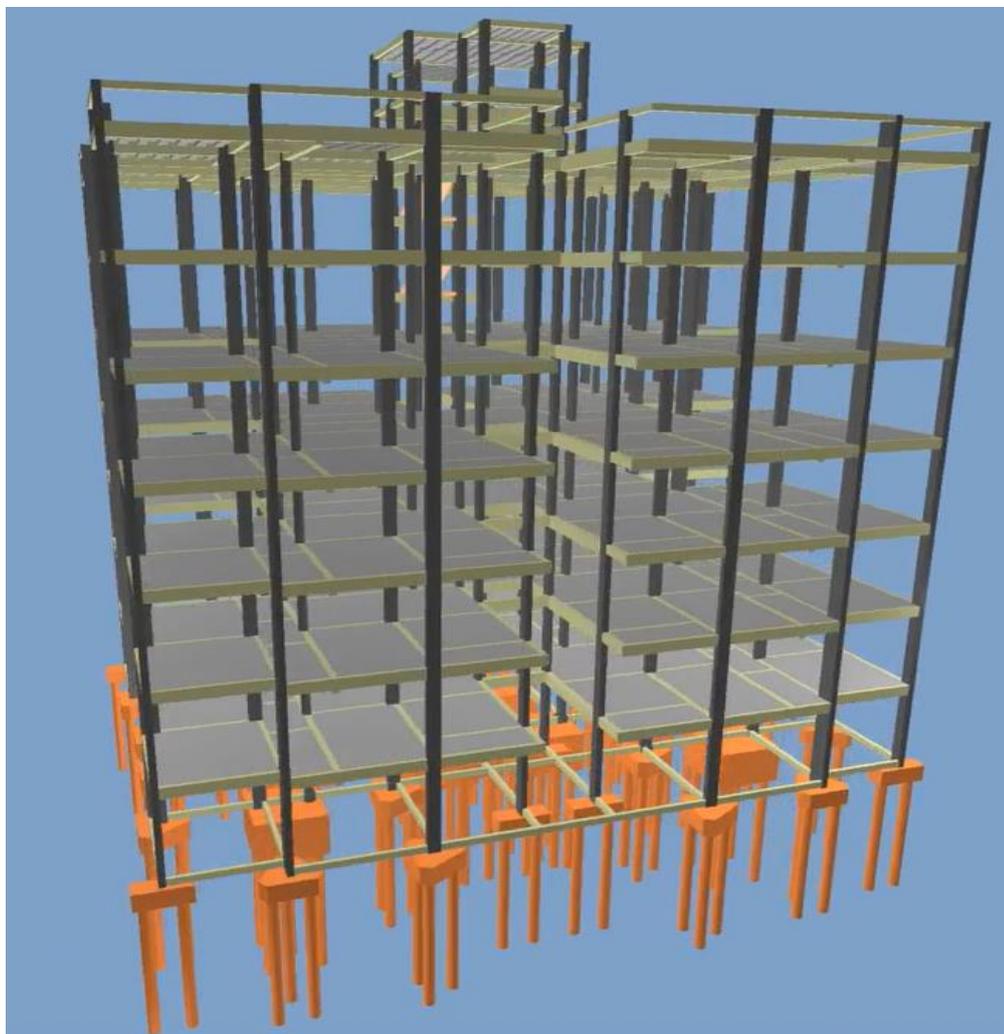
4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através do software Eberick. Com o dimensionamento da estrutura, foram analisados dois tipos de lajes, sendo elas, laje com vigotas protendidas e treliçadas na mesma estrutura.

4.1 Os resultados obtidos na avaliação do gama Z

Após o lançamento dos pilares, vigas, lajes, escadas e carregamentos, foi dimensionado e ajustado as armaduras, o pórtico abaixo na figura 17 ilustra de como ficou a estrutura com as fundações.

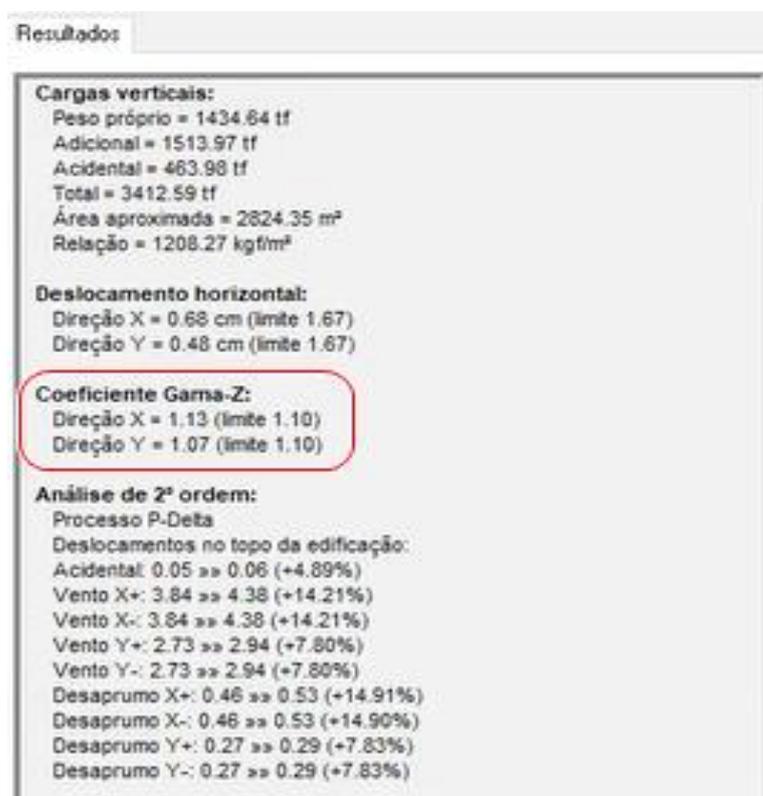
Figura 17 - Pórtico 3D.



Fonte: O próprio autor, 2020.

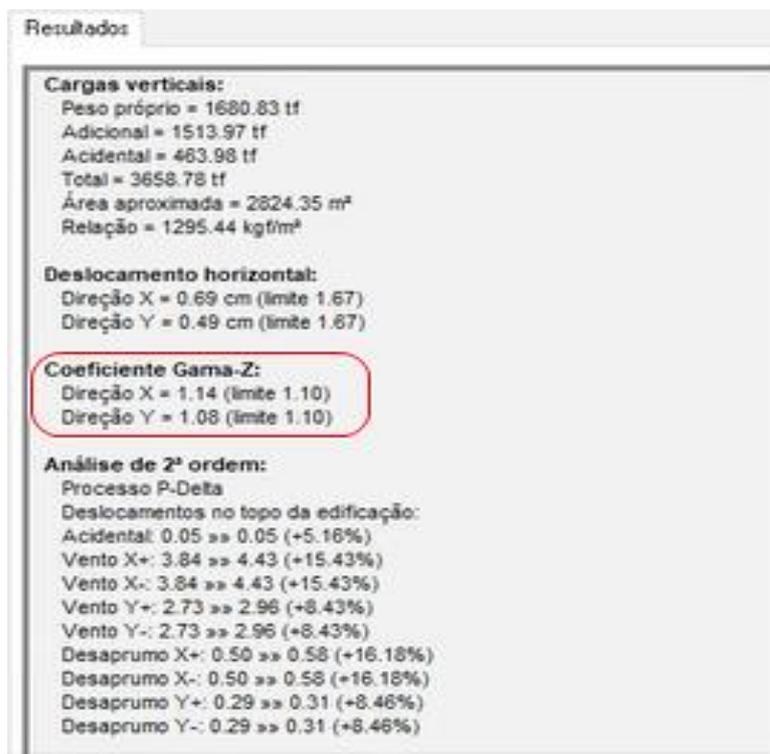
Nas figuras 18 e 19 pode ser observado uma pequena diferença entre os valores de gama Z, apenas de 0.01 maior para as lajes com vigotas treliçadas. Esta pequena diferença pode ser justificada pela diferença entre as cargas de cada laje, onde as treliçadas obtiveram cerca de 87,17 kgf/m² a mais que as protendidas. Onde esta versão utilizada do Eberick demonstrativa não utiliza a rigidez das lajes em consideração na hora dos cálculos do gama Z. Estes resultados confirmaram com os encontrados por Carvalho em 2012, visto que a laje com maior carga foi a nervurada com cubas plásticas, onde o gama Z deu maior devido a carga, com isso, teve que aumentar as seções dos pilares do elevador e da escada para que mantesse a rigidez do gama Z em 1.10.

Figura 18 - Resultados da estrutura das lajes com vigotas protendidas.



Fonte: O próprio autor, 2020.

Figura 19 - Resultados da estrutura das lajes com vigotas treliçadas.



Fonte: O próprio autor, 2020.

Segundo o Kimura (2007), são várias combinações de ações que acarretam nos cálculos dos valores de gama Z, dentre elas as ações permanentes que são as cargas da estrutura como o peso próprio, revestimento e as variáveis que são as cargas acidentais de uso, isto pode justificar a pequena variação que aconteceu com o gama Z, tendo em vista que a laje treliçada foi mais pesada do que a protendida.

4.2 Os resultados obtidos nas flechas das lajes

De acordo com os dados fornecidos na tabela 12 e nas figuras de 20 a 23, nota-se que as lajes passaram com flechas dentro da norma. Comparando as lajes 13 e 20, nota-se que as lajes com vigotas protendidas tiveram as cargas e a flechas menores. Todas as lajes com vigotas protendidas tiveram que ficar com 16 cm de seção para que respeitassem a NBR 14859:2016, já as lajes com vigotas treliçadas, tiveram espessuras variadas entre 13 até 17 cm, além de algumas com vigotas duplas. Isso pode ser justificado porque as vigotas protendidas passam pelo processo de protensão, com isso as vigotas tendem a resistir mais esforços de tração e compressão de acordo o Bonafé (2018). Não foi encontrado trabalhos com análises

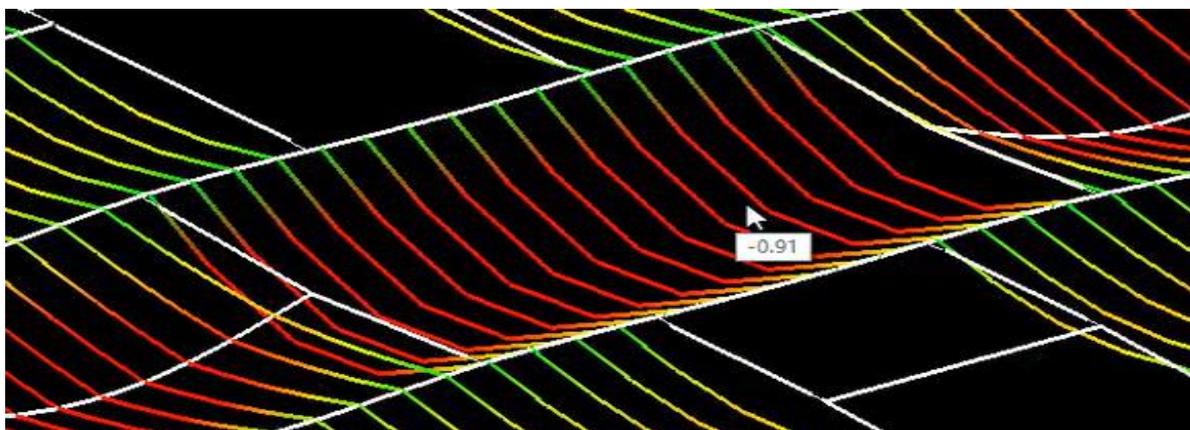
comparativas dos dois tipos de vigotas, entretanto, em uma comparação feita pela Marçal (2014), foi encontrado um valor de deslocamento imediato (flecha) de 0,59 cm em uma laje com vigotas treliçadas, com 16 cm de altura e vão de aproximadamente 5,00 metros.

Tabela 12 - Dados das lajes.

	CARGA (kgf/m ²)	ALTURA (cm)	FLECHA (cm)	VÃO MAIOR/ MENOR (cm)
LAJE 13 PROT	522,50	16,00	0,58	368,00/288,00
LAJE 13 TRELIÇ	629,50	15,00	0,75	368,00/288,00
LAJE 20 VÃO PROT	672,50	16,00	0,91	556,00/409,00
LAJE 20 VÃO TREL	843,84	17,00	0,67	556,00/409,00

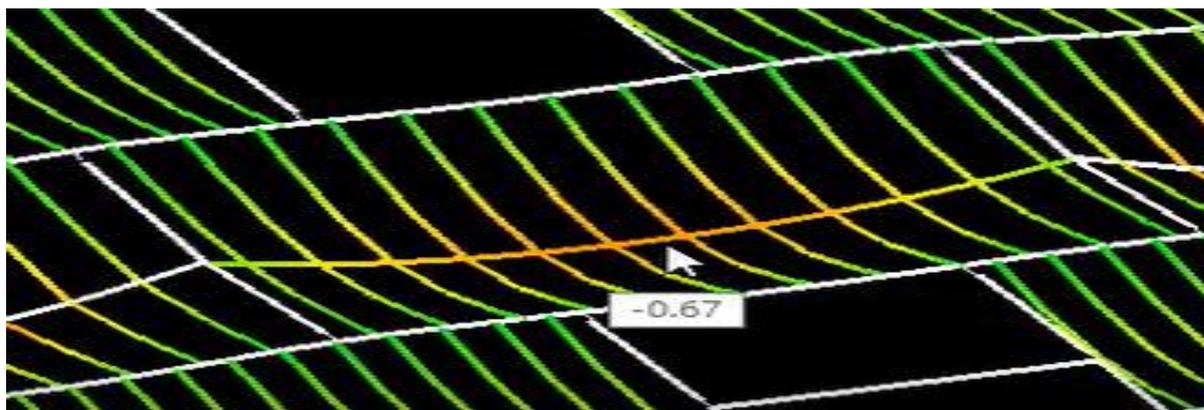
Fonte: O próprio autor, 2020.

Figura 20 - Deslocamentos da laje 20 com vigotas protendidas.



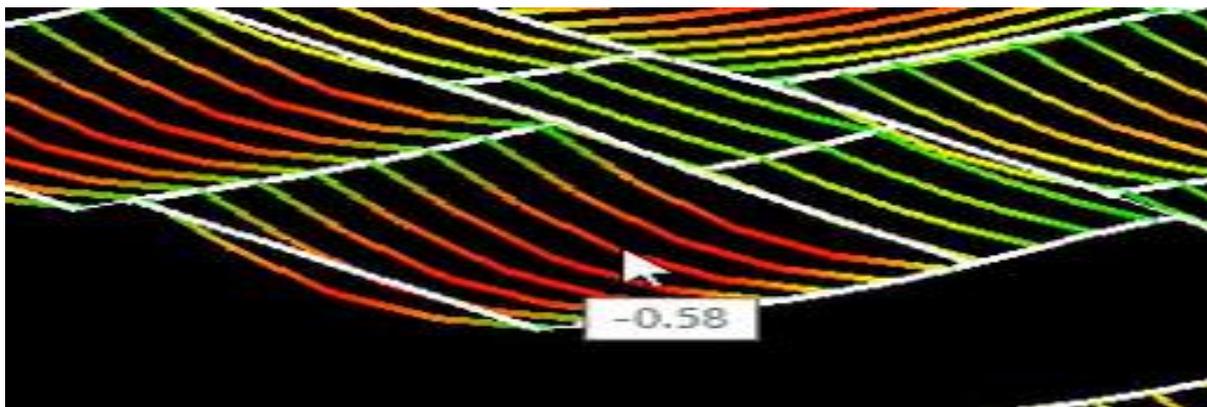
Fonte: O próprio autor, 2020.

Figura 21 - Flecha na laje 20 com vigotas treliçadas.



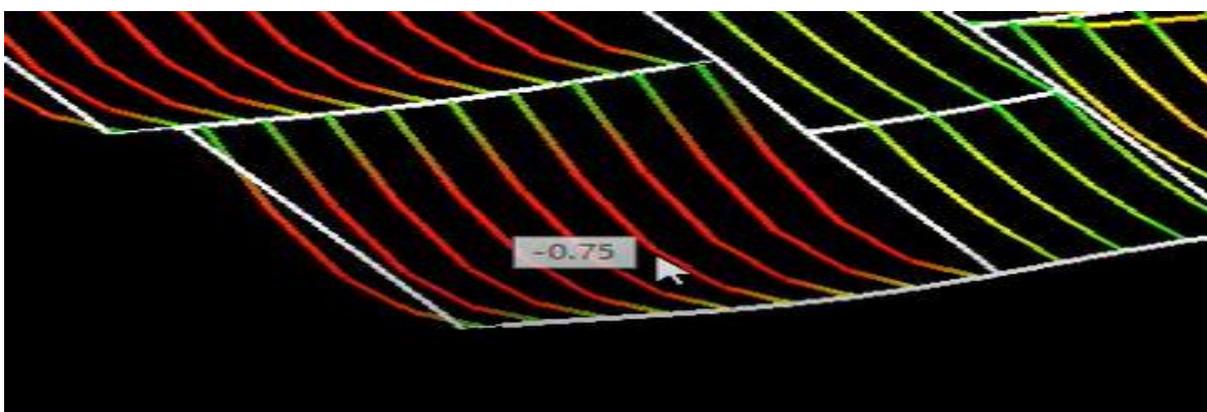
Fonte: O próprio autor, 2020.

Figura 22 - Flecha na laje 13 com vigotas protendidas.



Fonte: O próprio autor, 2020.

Figura 23 - Flecha na laje 13 com vigotas treliçadas.



Fonte: O próprio autor, 2020.

Segundo o Bonafé (2018) e Emerick (2002), em comparações com outras mais convencionais, estas são mais esbeltas, compreendem vãos maiores entre os apoios, flexibilidade. E nota-se que realmente a técnica de protender os cabos e cordoalhas da armadura dentro do concreto, ajuda sim a combater esforços de tração com o aço e compressão com o concreto. Onde os resultados demonstram que com menores cargas e alturas semelhantes as lajes protendidas podem sim ser esbeltas e compreenderem vãos maiores.

4.3 Os resultados obtidos nos esforços de cargas na fundação

Nas tabelas 13 e 14 podem ser visualizados diferenças entre as cargas de cada pilar, nota-se que há diferenças entre 0,68 tf até 12,44 tf por pilar. Isto pode ser

justificado pelas diferenças de cargas, onde são causadas por um conjunto de esforços de ações verticais e horizontais, neste caso a diferença de carga é maior devido ao fato de que as lajes treliçadas são mais robustas e acarretam maiores cargas, nota-se isso nos resultados obtidos nas cargas verticais no tópico anterior da avaliação do gama Z, que as cargas das lajes treliçadas foram 87,17 kgf/m² maiores nas lajes treliçadas.

Tabela 13 - Relatório de cargas nas fundações.

Relatório de Cargas nas Fundações						
Fundação		Protentidas		Trelaçadas		
Nome	Seção (cm)	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa	Diferença
P1	20x40	38,04	0,00	42,12	0,00	4,08
P2	20x65	75,62	0,00	77,22	0,00	1,60
P3	20x40	70,39	0,00	71,07	0,00	0,68
P4	20x40	69,27	0,00	70,97	0,00	1,70
P5	20x65	76,00	0,00	79,23	0,00	3,23
P6	20x40	37,54	0,00	40,18	0,00	2,64
P7	20x40	65,24	0,00	67,60	0,00	2,36
P8	20x40	66,56	0,00	67,40	0,00	0,84
P9	20x55	68,36	0,00	73,42	0,00	5,06
P12	20x40	73,70	0,00	79,04	0,00	5,34
P15	20x40	71,93	0,00	78,88	0,00	6,95
P18	20x55	67,41	0,00	74,06	0,00	6,65
P19	20x80	115,52	0,00	125,78	0,00	10,26
P24	20x80	114,28	0,00	123,29	0,00	9,01
P25	20x40	46,47	0,00	48,60	0,00	2,13
P26	20x40	45,94	0,00	50,56	0,00	4,62
P27	20x40	46,82	0,00	49,01	0,00	2,19
P28	20x80	117,54	0,00	127,75	0,00	10,21
P30	20x80	116,46	0,00	125,35	0,00	8,89
P31	20x40	46,30	0,00	51,02	0,00	4,72
P35	20x40	64,60	0,00	68,45	0,00	3,85
P36	20x40	65,94	0,00	69,04	0,00	3,10
P37	20x55	69,19	0,00	73,33	0,00	4,14
P40	20x40	85,40	0,00	90,87	0,00	5,47
P41	20x40	84,25	0,00	90,85	0,00	6,60
P44	20x55	68,25	0,00	74,95	0,00	6,70
P45	20x40	55,86	0,00	58,65	0,00	2,79

Fonte: O próprio autor, 2020.

Tabela 14 - Relatório de cargas nas fundações parte final.

Relatório de Cargas nas Fundações						
Fundação		Protentidas		Trelçadas		
Nome	Seção (cm)	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa	Diferença
P46	20x40	58,06	0,00	58,84	0,00	0,78
P47	20x40	38,24	0,00	41,27	0,00	3,03
P48	20x65	76,20	0,00	79,05	0,00	2,85
P49	20x65	76,22	0,00	79,99	0,00	3,77
P50	20x40	37,74	0,00	40,35	0,00	2,61
P51	20x40	65,45	0,00	67,09	0,00	1,64
P52	20x40	63,86	0,00	67,11	0,00	3,25
P10	20x40	74,64	0,00	79,01	0,00	4,37
P11	circular (30cm)	74,35	0,00	78,97	0,00	4,62
P13	20x60	94,92	0,00	100,01	0,00	5,09
P14	20x60	94,94	0,00	99,11	0,00	4,17
P16	circular (30cm)	73,53	0,00	77,83	0,00	4,30
P17	20x40	74,53	0,00	78,34	0,00	3,81
P20	20x40	90,37	0,00	101,07	0,00	10,70
P21	20x45	90,04	0,00	95,44	0,00	5,40
P22	20x45	87,39	0,00	92,70	0,00	5,31
P23	20x40	88,29	0,00	100,73	0,00	12,44
P29	20x40	85,94	0,00	96,24	0,00	10,30
P32	20x40	64,29	0,00	68,65	0,00	4,36
P33	20x40	64,98	0,00	69,31	0,00	4,33
P34	20x40	85,95	0,00	98,29	0,00	12,34
P38	20x40	74,96	0,00	80,27	0,00	5,31
P39	circular (30cm)	73,68	0,00	77,58	0,00	3,90
P42	circular (30cm)	73,47	0,00	76,69	0,00	3,22
P43	20x40	74,83	0,00	78,64	0,00	3,81
TOTAL:		3.412,66		3.876,70		464,04

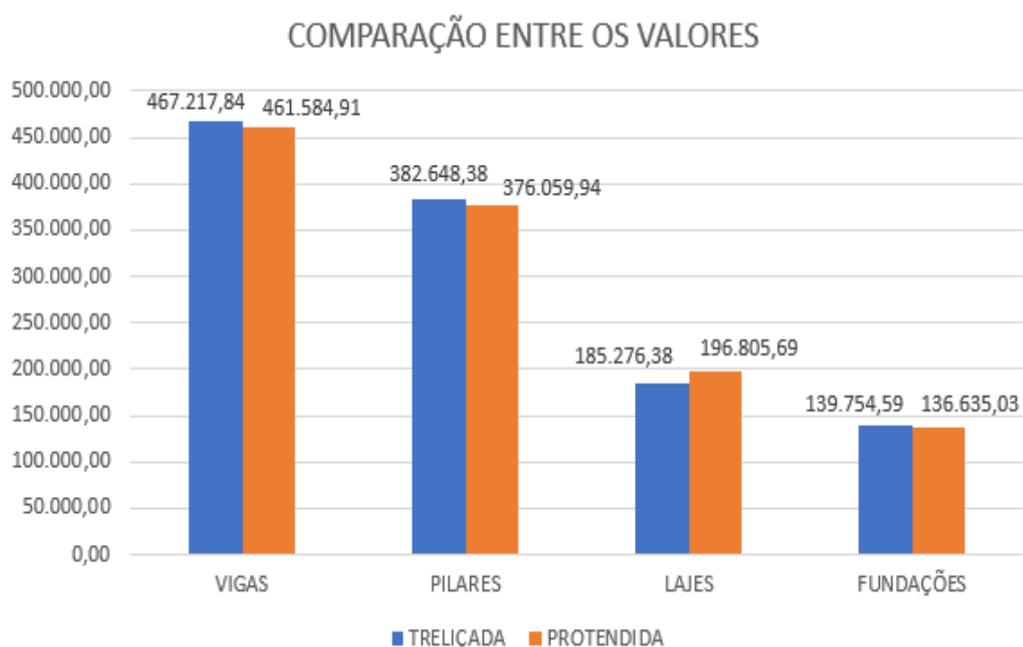
Fonte: O próprio autor, 2020.

Nota-se que nas tabelas apresentam os valores das diferenças de cargas exercidas sobre os blocos com estacas, visto que no final da tabela 14 tem a diferença total do carregamento das duas estruturas, com isso pode ser observado que em um edifício com 6 pavimentos foi obtido uma diferença de 464,04 tf sobre a fundação, logo quanto mais pavimentos o edifício tiver maior será a diferença nestes resultados.

4.4 Os resultados obtidos nos custos dos materiais

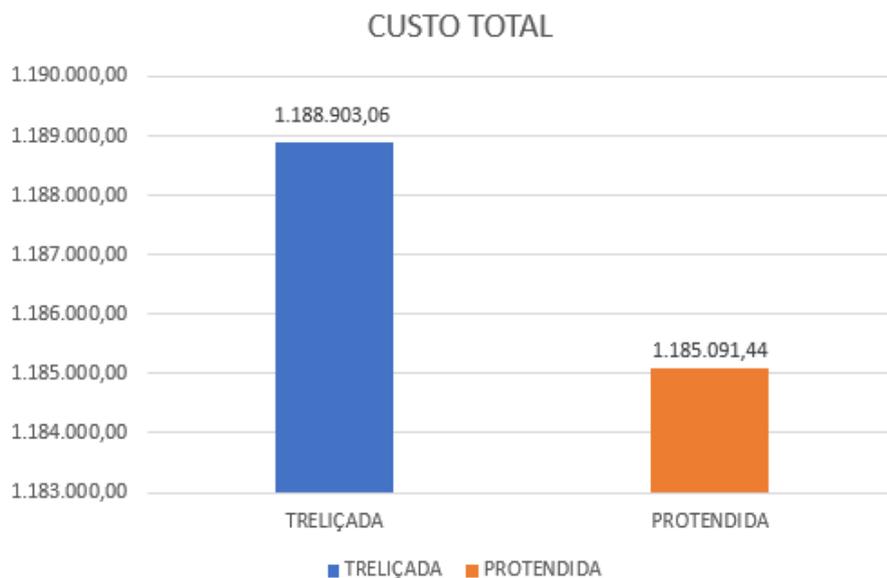
Nos gráficos 1, 2 e 3 e as tabelas 15 e 16 a seguir pode ser visualizado a comparação entre os valores separados por vigas, pilares, lajes e fundações. Os custos dos materiais, as lajes protendidas ficaram com valores mais altos do que as treliçadas, cerca de R\$ 1.659,02 por pavimento, no entanto, quando se conta com pilares, vigas e escadas, os valores diminuem para R\$ 644,31. Diante dos custos da obra, nota-se que na estrutura com lajes treliçadas, somente as lajes tiveram um custo menor de R\$ 11.529,31 total. No final o custo total da obra, a estrutura com lajes protendidas tiveram um custo menor de R\$ 3.811,62 de diferença. Isto pode ser justificado pelo fato das cargas exercidas pelas lajes treliçadas terem sido maiores, logo na parte da fundação cerca de 464,04 tf mais solicitada do que as protendidas, com essa solicitação a mais, as vigas, pilares e a fundação, ficaram com custos maiores. Os valores das estacas não estão incluídos nestes resultados. Vale ressaltar que o programa vem com valores pré-configurados obtidos pela tabela do SINAPI - Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil. Os valores dos custos das estacas não estão incluídos neste orçamento, apenas os blocos.

Gráfico 1 - Comparação entre valores.



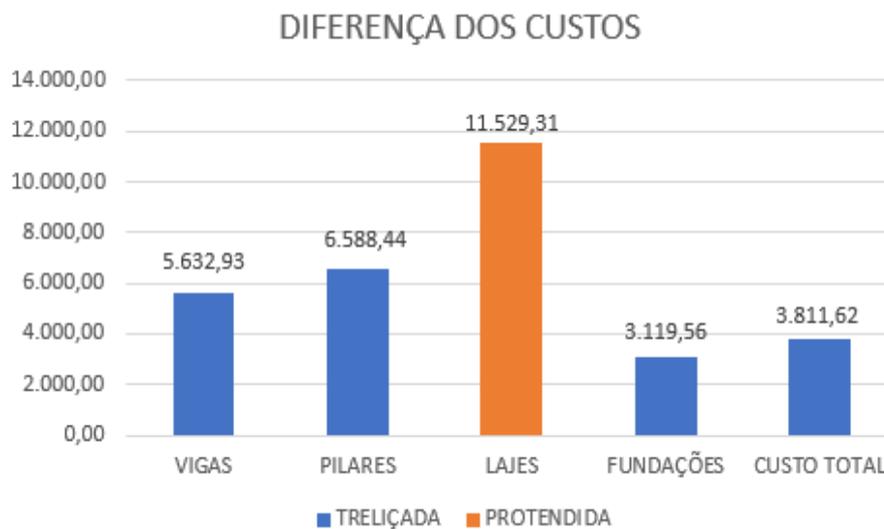
Fonte: O próprio autor, 2020.

Gráfico 2 - Custo total.



Fonte: O próprio autor, 2020.

Gráfico 3 - Diferença dos custos.



Fonte: O próprio autor, 2020.

Tabela 15 - Relatório de custos lajes com vigotas protendidas.

Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Laje pré-fabricada	Bloco de enchimento	Total
barrilete	Pilares	2.536,14	1.448,80	6.998,18	0,00	0,00	10.983,12
	Lajes	0,00	0,00	0,00	4.274,79	368,16	4.642,95
	Total	4.883,88	2.811,82	12.845,11	4.274,79	368,16	25.183,76
platibanda	Pilares	2.852,99	1.546,96	7.219,73	0,00	0,00	11.619,68
	Lajes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	6.655,07	3.481,69	15.874,79	0,00	0,00	26.011,55
cobertura	Pilares	10.218,88	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	46.094,34
	Lajes	0,00	0,00	0,00	24.946,09	2.505,73	27.451,82
	Total	21.296,52	15.936,89	65.572,39	24.946,09	2.505,73	130.257,62
pav 6	Pilares	9.556,33	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	45.431,79
	Lajes	0,00	0,00	0,00	24.946,09	2.505,73	27.451,82
	Total	21.264,17	15.936,89	65.572,39	24.946,09	2.505,73	130.225,27
pav 5	Pilares	9.472,59	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	45.348,05
	Lajes	0,00	0,00	0,00	24.946,09	2.505,73	27.451,82
	Total	22.085,42	15.936,89	65.572,39	24.946,09	2.505,73	131.046,52
pav 4	Pilares	9.870,50	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	45.745,96
	Lajes	0,00	0,00	0,00	24.946,09	2.505,73	27.451,82
	Total	24.147,28	15.936,89	65.572,39	24.946,09	2.505,73	133.108,38
pav 3	Pilares	11.076,65	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	46.952,11
	Lajes	0,00	0,00	0,00	24.946,09	2.505,73	27.451,82
	Total	26.683,00	15.936,89	65.572,39	24.946,09	2.505,73	135.644,10
pav 2	Pilares	13.426,26	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	49.301,72
	Lajes	0,00	0,00	0,00	24.946,09	2.505,73	27.451,82
	Total	30.034,20	15.936,89	65.572,39	24.946,09	2.505,73	138.995,30
pav 1	Pilares	16.680,84	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	52.556,30
	Lajes	0,00	0,00	0,00	24.946,09	2.505,73	27.451,82
	Total	33.054,54	16.207,62	66.399,56	24.946,09	2.505,73	143.113,54
térreo	Pilares	7.352,40	3.129,75	11.544,72	0,00	0,00	22.026,87
	Lajes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	49.697,78	48.547,46	38.389,79	0,00	0,00	136.635,03
	Total	64.540,47	56.431,69	70.533,24	0,00	0,00	191.505,40
Custo total do projeto							1.185.091,44

Fonte: O próprio autor, 2020.

Tabela 16 - Relatório de custos lajes com vigotas treliçadas.

Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Laje pré-fabricada	Bloco de enchimento	Total
barrilete	Pilares	2.691,91	1.448,80	6.998,18	0,00	0,00	11.138,89
	Lajes	106,03	1.967,75	0,00	2.247,00	404,74	4.725,52
	Total	5.247,72	4.779,57	12.845,11	2.247,00	404,74	25.524,14
platibanda	Pilares	2.966,58	1.546,96	7.219,73	0,00	0,00	11.733,27
	Lajes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	6.856,75	3.481,69	15.874,79	0,00	0,00	26.213,23
cobertura	Pilares	10.615,13	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	46.490,59
	Lajes	112,54	9.861,42	0,00	13.112,69	2.706,33	25.792,98
	Total	22.433,09	25.798,31	65.572,39	13.112,69	2.706,33	129.622,81
pav 6	Pilares	9.732,40	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	45.607,86
	Lajes	112,54	9.861,42	0,00	13.112,69	2.706,33	25.792,98
	Total	22.391,24	25.798,31	65.572,39	13.112,69	2.706,33	129.580,96
pav 5	Pilares	9.849,54	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	45.725,00
	Lajes	112,54	9.861,42	0,00	13.112,69	2.706,33	25.792,98
	Total	23.594,44	25.798,31	65.572,39	13.112,69	2.706,33	130.784,16
pav 4	Pilares	10.304,74	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	46.180,20
	Lajes	112,54	9.861,42	0,00	13.112,69	2.706,33	25.792,98
	Total	25.473,80	25.798,31	65.572,39	13.112,69	2.706,33	132.663,52
pav 3	Pilares	11.709,74	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	47.585,20
	Lajes	112,54	9.861,42	0,00	13.112,69	2.706,33	25.792,98
	Total	28.252,76	25.798,31	65.572,39	13.112,69	2.706,33	135.442,48
pav 2	Pilares	14.713,83	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	50.589,29
	Lajes	112,54	9.861,42	0,00	13.112,69	2.706,33	25.792,98
	Total	32.065,33	25.798,31	65.572,39	13.112,69	2.706,33	139.255,05
pav 1	Pilares	18.449,09	6.300,55	29.574,91	0,00	0,00	54.324,55
	Lajes	112,54	9.861,42	0,00	13.112,69	2.706,33	25.792,98
	Total	35.615,98	26.069,04	66.399,56	13.112,69	2.706,33	143.903,60
térreo	Pilares	8.066,34	3.252,64	11.954,55	0,00	0,00	23.273,53
	Lajes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	50.602,33	50.167,40	38.984,86	0,00	0,00	139.754,59
	Total	66.200,45	58.174,52	71.538,14	0,00	0,00	195.913,11
Custo total do projeto							1.188.903,06

Fonte: O próprio autor, 2020.

Nesta estrutura se somar os valores das vigas e pilares da R\$ 12.221,37, onde nota se que fica um custo de R\$ 692,06 a mais do que as lajes. Na estrutura o que mais influenciou foram as fundações com R\$ 3.119,56.

A estrutura com lajes protendidas tiveram apenas uma diferença de 0,32% no custo total. Entretanto quanto mais pavimentos a estrutura tiver, maiores serão as cargas estruturais, onde acarreta em pilares e vigas mais robustas, além das fundações com mais estacas, tendo assim uma estrutura com valores ainda maiores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores de gama Z tiveram apenas uma pequena diferença de 0.01, onde a única diferença foi pelas cargas das lajes treliçadas, onde tiveram 87,17 kgf/m² a mais do que as lajes protendidas.

No quesito das flechas das lajes, entre vãos de 3,00 e 5,56 metros analisados, as lajes protendidas obtiveram menores cargas e flechas. As lajes treliçadas ficaram com algumas seções maiores e cargas maiores para obter resultados de flechas parecidas. O resultado foi de acordo com o esperado, onde as lajes com vigotas protendidas proporcionou vãos com seções, cargas e deformações menores, assim como afirma Emerick (2002).

Os esforços nas fundações tiveram pequenas diferenças de pilar para pilar, entretanto as cargas das lajes influenciaram bastante, onde as lajes treliçadas obtiveram 464,04 tf na carga total sobre as fundações, visto que isso em uma estrutura de mais pavimentos influenciaria em fundações mais robustas e com mais estacas.

Os custos dos materiais a maior diferença foram nas fundações, cerca de R\$ 3.119,56 diferença, e no custo final da obra a diferença foi de aproximadamente R\$ 3.811,62. Com isso, nota-se que quanto maior o edifício, maior será a diferença de carga, maior serão os custos nos pilares, vigas e fundações.

REFERÊNCIAS

ALTOQI. Customize seu Eberick de acordo com porte e complexidade dos seus projetos. **altoqi**, 2020. Disponível em: <<https://www.altoqi.com.br/eberick-modulos/>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

ALTOQI. Vínculo de apoio das fundações. **Altoqi**, 2020. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360012152833-V%C3%ADnculo-de-apoio-das-funda%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 24 outubro 2020.

ANTUNES, K. D. O. Estudo comparativo entre lajes maciças e nervuradas unidirecionais e bidirecionais de concreto armado. Repositório ufu, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26648/3/ComparativoLajesMaci%C3%A7as.pdf>> Acesso em 18 maio 2020.

ARCELOR MITTAL. Manual Técnico de Lajes Trelaçadas. **rangellage**, 2019. Disponível em: <<http://rangellage.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Manual-Lajes-Treli%C3%A7adas.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002) NBR 14859-1: Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto parte 1: vigotas, minipainéis e painéis: requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO NBR 14859-3: Lajes pré-fabricadas de concreto parte 3: armadura treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas: requisitos. Rio de Janeiro 2017.

BONAFÉ, G. Lajes protendidas vencem grandes vãos e reduzem o peso da estrutura. **aecweb**, 2018. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/lajes-protendidas-vencem-grandes-vaos-e-reduzem-o-peso-da-estrutura/16200>>. Acesso em: 26 abr. 2020.

CARVALHO, M. A. de. Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciças, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos. 2012. TCC – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

DINIZ, Siria Maria da Silva; VARGAS, Alexandre. Avaliação experimental da influência da treliça eletrosoldada na flecha de vigotas pré-moldadas. Criciúma, 2016.

EMERICK, A. A. Projeto e execução de lajes protendidas. **deecc**, 2002. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/TB812_Estruturas%20de%20Concreto%20Protendido/LP.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2020.

ENGEL, H. “Sistemas Estruturais”. Editorial Gustavo Gili AS, Barcelona, 2002.

FERREIRA, T. R. Otimização Estrutural de Lajes Formadas por vigotas treliçadas com e sem protensão. **repositorio ufu**, 2016. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14229/1/OtimizacaoEstruturalLajes.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2020.

JÚNIOR, J. C. C. L. Dimensionamento à punção em apoios internos de lajes protendidas sem aderência. **repositorio ufes**, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/1813/1/jose%20carlos%20cirino%20leite%20junior.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

KIRSTEN, E. A. Como é calculado o coeficiente Gama – Z. **Suporte altoqi**, 2020. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115001181694--Exemplo-Como-%C3%A9-calculado-o-coeficiente-Gama-Z->>. Acesso em: 23/10/2020

KIMURA, A. E. INFORMÁTICA APLICADA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: Cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais, 2007.

KLEIN, É. L. RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO ENTRE LAJES COM VIGOTAS PROTENDIDAS E LAJES CONVENCIONAIS. **bibliodigital unijui**, 2017. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/4474/%c3%89verton%20Levino%20Klein.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

LIMA, W.; MARTINS, P.; JORGINO, D. Avaliação comparativa entre os softwares EBERICK V10 e CYPECAD 2016 para estruturas de concreto armado. **Revista Eletrônica TECEN**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 12, p. 31-40, mar 2019.

MARÇAL, A. R. ESTUDO DE LAJES DE CONCRETO ARMADO: COMPARATIVO DE CÁLCULO ENTRE LAJES TRELIÇADAS E MACIÇAS, UTILIZANDO MÉTODO ELÁSTICO. Repositório ufsm, 2014. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_ANA%20RUSSOWSKY%20MARCAL.pdf>. Acesso em: 17 maio 2020.

MENEGON, F.; VARGAS, A. Análise experimental comparativa entre lajes com vigota treliçada e comum. **repositorio unesc**, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/6496/1/FranciMenegon.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

MERLIN, A. J. Relação custo/benefício entre lajes com vigotas protendidas e lajes convencionais. **teses usp**, 2002. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-11092003-104443/publico/Andreijm.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2020.

PISONI, F. U.; VARGAS, A. ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CAPACIDADE PORTANTE DE VIGOTAS TRELIÇADAS E PROTENDIDAS UTILIZADAS EM LAJES PRÉ FABRICADAS USUAIS. **repositorio unesc**, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4243/1/Filipe%20Uggioni%20Pisoni.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2020.

PRODANOV (Prodanov & Freitas, 2013). **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. Nova Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. 277 p. Disponível em: <

<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2020.

RODRIGUES, W. C. Metodologia Científica (PPT). unisc, 2007. Disponível em: <http://unisc.br/portal/upload/com_arquivo/metodologia_cientifica.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2020.

ROSA, M. S. D. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES DE VIGOTAS TRELIÇADAS EM UM EDIFÍCIO DE TREZE PAVIMENTOS: ESTUDO DE CASO. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/3717/TCC_Marlon_Sora_da_Rosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 18 maio 2020.

SANTOS, A. A. D.; SILVA, G. D. PROJETO ESTRUTURAL DE UMA CERVEJARIA COM A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE EBERICK. Ignis, Caçador, v. 7, n. 2, p. 43-59, maio 2018. Disponível em: <<http://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1811>>. Acesso em: 04 maio 2020.

SANTOS, D. M. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA ENTRE LAJE MACIÇA E LAJE PRÉ-MOLDADE TRELIÇADA UNIDIRECIONAL. Unicerp. Disponível em: <http://www.unicerp.edu.br/ensino/cursos/engenhariacivil/monografias/2018/ESTUDO_DEVIABILIDADE_TECNICO_ECONOMICA.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

SILVA, L. B. D. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES COM VIGOTAS TRELIÇADAS E PROTENDIDAS. **dspace unipampa**, 2019. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/bitstream/riu/4863/1/Leonardo%20Berta%20da%20Silva%20-%202019.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2020.

SMITH, B. S e Coull, A. "Tall building structure: Analysis and Design". Nova York: John Wiley & Sons, 1991

VASCONCELOS, Filho. A. F. "Edifícios de Andares Múltiplos". Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, 1981.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Resende. Fundações: Critérios de projeto – Investigações de Subsolo – Fundações Superficiais. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2004.