

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

CRISTIANO DA CAS SIMA

**ANÁLISE DOS EFEITOS DAS CARGAS TRANSMITIDAS PELO ESCORAMENTO
ÀS LAJES DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO**

**Alegrete
2016**

CRISTIANO DA CAS SIMA

**ANÁLISE DOS EFEITOS DAS CARGAS TRANSMITIDAS PELO ESCORAMENTO
ÀS LAJES DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Cristiano Da Cas Sima apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Alisson Simonetti Milani

**Alegrete
2016**

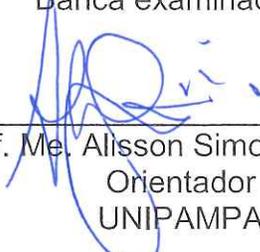
CRISTIANO DA CAS SIMA

**ANÁLISE DOS EFEITOS DAS CARGAS TRANSMITIDAS PELO
ESCORAMENTO ÀS LAJES DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação
em Engenharia Civil da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em: 29 de Junho de 2016.

Banca examinadora:

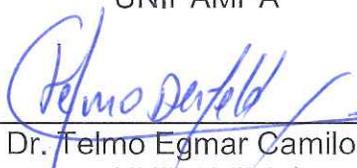


Prof. Me. Alisson Simonetti Milani
Orientador
UNIPAMPA

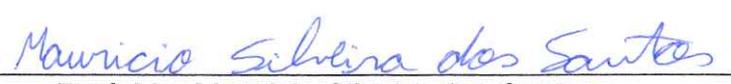
ANDRE
LUBECK:9628
8302015

Digitally signed by ANDRE
LUBECK:96288302015
DN: cn=ANDRE,
LUBECK:96288302015, c=BR,
o=UNIPAMPA, ou=RFB e-CPF A3,
email=andrelubeck@unipampa.edu.br
Date: 2016.07.13 10:27:54 -0300

Prof. Me. André Lubeck
Coorientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Telmo Egmar Camilo Deifeld
UNIPAMPA



Prof. Me. Mauricio Silveira dos Santos
UNIPAMPA

RESUMO

Durante as etapas construtivas de uma edificação em concreto armado utiliza-se um sistema de suporte de pavimentos formado por fôrmas, escoras e escoras remanescentes. Esse sistema de suporte tem por finalidade sustentar o concreto até que ele atinja resistência suficiente. Para manter os pavimentos escorados por um determinado tempo e acelerar a execução dos pavimentos é recorrente a manutenção de parte das escoras em vários pavimentos. A remoção das escoras só pode ser feita quando o concreto estiver endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações quando este é solicitado com pouca idade. Dessa forma, este trabalho tem por finalidade analisar os efeitos das cargas de concretagem durante as etapas construtivas e avaliar os esforços e flechas nas lajes para três diferentes casos de escoramentos e comparar com a edificação já concluída para investigar a importância da carga de concretagem para não comprometer a estrutura. Para isso foi utilizado um software de elementos finitos como ferramenta de análise avaliando as solicitações das lajes por analogia de grelhas, primeiramente foram analisados durante a etapa construtiva três casos para diferentes níveis de escoramento e comparados com o caso da edificação concluída. Percebe-se que quanto maior for o tempo de escoramento e a utilização de escoras remanescentes melhor será a distribuição dos carregamentos e menores serão os esforços e deformações nas lajes de uma edificação em concreto armado.

Palavras-chave: concreto, lajes, escoras, esforços, flechas

ABSTRACT

Over the construction stages of a reinforced concrete building shall be used a floor support system formed by molds, props and reshores. This support system is intended to support the concrete until it reaches its adequate strength. To keep the floor anchored for a certain period and speed up the execution of the floor it is necessary to keep the maintenance of the props on several floors. The removal of the props can only be done when the concrete has hardened enough to resist the actions on it, and not end up deforming by those actions when requested with an early age. Thus, this study aims to analyze the effects of the concrete loads during construction stages, and evaluate the efforts, and perpendicular displacement to the built structure section on slabs for three different cases of shoring, comparing with an already completed building to investigate the importance of the concreting load to do not compromise the structure. For this purpose was used as an analysis tool a finite elements software, evaluating the loads requests on the slabs by grid analogy, Firstly, three cases were analyzed for different levels of shoring during the construction stages and finally compared with the ready building. It is noticed that the higher the shoring of time and the use of remaining anchors better the distribution of loads and the lower the effort and strain on the flagstones of a building of reinforced concrete.

Keywords: concrete, slabs, props, efforts, sag.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fôrmas de madeira compensada	18
Figura 2 - Modelo da fôrma (Corte, Elevação e Vista)	20
Figura 3 - Disposição das escoras metálicas	21
Figura 4 - Operações básicas em processos de construção de edifícios em concreto armado	23
Figura 5 - Posição inadequada do escoramento	32
Figura 6 - Imagem ilustrativa da disposição das escoras para o caso I	33
Figura 7 - Imagem ilustrativa da disposição das escoras para o caso II	34
Figura 8 - Imagem ilustrativa da disposição das escoras para o caso III	35
Figura 9 - Planta baixa do pavimento tipo	38
Figura 10 - Espaçamento entre as escoras.....	39
Figura 11 - Malha dos elementos da barra no modelo de grelha	40
Figura 12 - Área de influência das escoras	44
Figura 13 - Cargas e escoramentos (caso I)	53
Figura 14 - Momentos fletores nas vigas e lajes (caso I)	54
Figura 15 - Vista superior da laje do 3º pavimento (caso I).....	54
Figura 16 – Deformada (caso I).....	55
Figura 17 - Perspectiva da laje (caso I).....	55
Figura 18 - Cargas e escoramentos (caso II)	56
Figura 19 - Momentos fletores nas vigas e lajes (caso II)	57
Figura 20 - Vista superior da laje do 4º pavimento (caso II)	57
Figura 21 - Deformada (caso II)	58
Figura 22 - Perspectiva da laje (caso II).....	58
Figura 23 - Cargas (caso III).....	59
Figura 24 - Momentos fletores nas vigas e lajes (caso III)	60
Figura 25 - Vista superior da laje do 5º pavimento (caso III)	60
Figura 26 - Deformada (caso III)	61
Figura 27 - Perspectiva da laje (caso III).....	61
Figura 28 - Cargas referentes às ações permanentes e variáveis (caso IV).....	62
Figura 29 - Momentos fletores nas vigas e lajes (caso IV).....	63
Figura 30 - Vista superior da laje do 3º pavimento (caso IV).....	63
Figura 31 - Deformada (caso IV)	64

Figura 32 - Perspectiva da laje (caso IV)64

Tabela 1 - Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto	29
Tabela 2 - Prazo mínimo para retirada de fôrmas	31
Tabela 3 - Tipo de madeira utilizada	41
Tabela 4 - Áreas de influência das escoras	44
Tabela 5 – Carga total aplicada nas escoras	46
Tabela 6 - Áreas de influência da laje para os nós da malha	48
Tabela 7 - Cargas permanentes atuantes para as lajes do 2º ao 8º pavimento	49
Tabela 8 - Cargas acidentais atuantes para as lajes do 2º ao 8º pavimento	49
Tabela 9 - Cargas permanentes atuantes na laje de cobertura.....	50
Tabela 10 - Cargas acidentais atuantes na laje de cobertura	50
Tabela 11 - Módulo de elasticidade e resistência à compressão do concreto para diferentes idades	52
Tabela 12 - Flechas máximas nas lajes	65
Tabela 13 - Momentos máximos nas lajes com relação ao eixo x	67
Tabela 14 - Momentos máximos nas lajes com relação ao eixo y	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre as flechas para os casos analisados.....	66
Gráfico 2 - Comparação dos momentos fletores máximos na direção x para as lajes em estudo.....	69
Gráfico 3- Comparação dos momentos fletores máximos na direção y para as lajes em estudo.....	69

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ACI – American Concrete Institute;

A_{i_l} – Área de influência da laje;

A_{i_v} – Área de influência da viga;

E_{ci} – Módulo de Elasticidade Inicial;

$E_{ci(t)}$ – Estimativa do módulo de elasticidade do concreto para idade entre 7 dias e 28 dias;

E_{cs} – Módulo de elasticidade secante;

F_d – Valor de cálculo das ações para combinação última;

F_{gk} – Representa as ações permanentes diretas;

F_{q1k} – Representa as ações variáveis diretas;

f_{c_j} – Resistência do concreto à compressão prevista para a idade de j dias

f_{ck} – Resistência Característica do Concreto

GP_a – gigapascal

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto

kN/m – quilonewton por metro

kN/m^2 – quilonewton por metro quadrado

kN/m^3 – quilonewton por metro cúbico

MP_a – megapascal

NBR – Norma Brasileira;

P_g – Carga permanente;

P_q – Carga acidental;

γ_c – Peso específico do concreto;

γ_g – Coeficientes de ponderação para carga permanente;

γ_q – Coeficientes de ponderação para carga acidental.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Considerações Iniciais	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	Justificativa	15
1.4	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Conceitos Gerais	18
2.2	Processo Construtivo Tradicional	21
2.3	Ações Atuantes Nas Etapas De Construção	23
2.4	Recomendações Normativas Referentes às Etapas de Construção	24
2.4.1	Recomendações da NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT, 2014)	24
2.4.2	Recomendações da NBR 14931 – Execução de Estruturas de Concreto (ABNT, 2004)	26
2.4.3	Recomendações da NBR 8681 – Ações e Segurança das Estruturas (ABNT, 2004)	26
2.4.4	Recomendações da NBR 15696 – Fôrmas e Escoramentos para Estruturas de Concreto (ABNT, 2009)	27
2.5	Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto	27
2.5.1	Introdução	27
2.5.2	Módulo de Elasticidade	28
2.6	Cuidados com Relação às Fôrmas e os Escoramentos	30
3	METODOLOGIA	33
4	CARACTERÍSTICAS DO TRABALHO	37
4.1	Definição da Edificação	37
4.2	Definição do Espaçamento Entre as Escoras	39
4.3	Análise das Lajes	40
4.4	Cargas de Projeto	40
4.4.1	Peso das Fôrmas	41
4.4.2	Área de Influência das Escoras	43
4.5	Carga Total Aplicada em Cada Escora	45
4.6	Cargas na Edificação Concluída	46

4.6.1	Área de Influência para a Edificação Concluída	47
4.6.2	Carregamento de Vigas e Lajes na Edificação Concluída	48
5	ESTUDO DOS CASOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	51
5.1	Análise dos Esforços e Flechas para os Casos Descritos	52
5.1.1	Análise do Caso I.....	52
5.1.2	Análise do Caso II.....	56
5.1.3	Análise do Caso III.....	59
5.1.4	Análise do Caso IV	62
5.2	Análise dos Resultados	65
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
6.1	Conclusões	70
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	71
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Nas estruturas em concreto armado, durante cada etapa construtiva, é utilizado um sistema de suporte de pavimentos formado por fôrmas, escoras ou pontaletes e as escoras remanescentes. É esse sistema que irá sustentar o pavimento recém concretado, até que esse concreto adquira resistência, suportado pelos pavimentos inferiores (estes já com resistência suficiente para absorver as cargas que nele incidem).

Segundo a NBR 14931(ABNT, 2004, pg. 6), escoramentos devem ser projetados de modo a não sofrerem, sob a ação de seu peso próprio, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da estrutura de concreto, deformações prejudiciais ao formato da estrutura ou que possam causar esforços não previstos no concreto.

Segundo Prado (1999, pg. 58), quando um pavimento está sendo concretado ele não apresenta resistência alguma e, portanto, não possui capacidade de absorver qualquer parcela de carregamento. Toda a ação de peso próprio do concreto e fôrmas, bem como as ações variáveis, é transferida diretamente para o pavimento inferior através das escoras e dos pilares já concretados anteriormente.

A distribuição das ações atuantes de construção varia ao longo das etapas construtivas de uma estrutura, essas ações podem solicitar as estruturas com valores maiores do que as atuantes em serviço. Para que essas ações não ultrapassem a capacidade de resistência da estrutura é necessário avaliar a evolução do carregamento a cada nova etapa construtiva e comparar com os seus respectivos valores resistentes.

Para manter os pavimentos escorados por um determinado período e, ao mesmo tempo, acelerar a execução dos pavimentos, é recorrente a manutenção de parte do escoramento em vários pavimentos subsequentes. Desta forma, tem-se uma sequência da ordem de três, quatro e até cinco pavimentos ligados por meio destes. Este procedimento promove uma transferência de cargas e ações de construção entre pavimentos de diferentes idades. Em nível de projeto, deveriam ser analisadas as ações oriundas deste modelo estrutural em que se têm pavimentos de

concreto armado com diferentes propriedades mecânicas, ligados por meio de escoras (Salvador, 2013, pg. 20).

Sendo assim, em alguma etapa da construção a estrutura poderá apresentar uma relação esforço resistente e solicitante inferior a aquela considerada em projeto, fazendo que, com isso, possa ocorrer o surgimento de fissuras e deformações excessivas.

Em relação à redução dos ciclos de execução, Salvador (2013) afirma que esse ciclo também influencia na resistência e durabilidade das estruturas de concreto. A remoção prematura dos sistemas de suporte faz com que as estruturas de concreto sejam solicitadas pelo próprio peso do pavimento e dos pavimentos superiores que nele estejam apoiados. As ações construtivas resultantes deste carregamento dependerão da parcela de carga absorvida pelo pavimento e da rigidez das peças na idade em que ocorre a retirada das escoras. A utilização de ciclos de execução acelerados resulta maiores deformações, fazendo-se necessária uma verificação de projeto que contemple as etapas construtivas, bem como as cargas decorrentes deste processo. Entende-se por ciclo de execução o período de tempo entre a concretagem de um pavimento e outro.

Com relação à retirada das fôrmas e escoras a NBR 14931(ABNT, 2004, pg. 24) indica que só pode ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido, para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto (E_{ci}) e a maior probabilidade de grande deformação lenta no tempo quando o concreto é solicitado com pouca idade. Caso essas condições não forem atendidas, a retirada do escoramento não poderá ser feita antes dos 21 dias.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho consiste em analisar os efeitos das cargas de concretagem nas lajes maciças de uma edificação em concreto armado durante as etapas construtivas e avaliar os esforços de um pavimento recém concretado sobre o pavimento inferior que recebe o escoramento das fôrmas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os esforços na laje e as flechas das lajes maciças de um edifício com múltiplos pavimentos, modelado através de um software de elementos finitos considerando as cargas de projeto (cargas verticais);
- Avaliar os esforços na laje e as flechas das lajes deste mesmo edifício utilizando um software de elementos finitos, submetidos à carga de concretagem com diferentes valores do módulo de elasticidade utilizando três diferentes casos de escoramentos;
- E por fim, comparar os resultados para a análise descrita anteriormente com os esforços na laje e as flechas da laje deste mesmo edifício, porém considerando este já concluído, com o propósito de avaliar a importância da consideração da carga de concretagem para não comprometer o desempenho estrutural.

1.3 Justificativa

O aumento das resistências dos materiais utilizados na indústria da construção civil somado à evolução dos métodos de cálculo elaborados ao meio computacional estabeleceram algumas mudanças nos padrões construtivos e arquitetônicos. Possibilitou-se a construção de edifícios mais altos, obras são executadas com maior agilidade, as estruturas tornaram-se mais esbeltas, houve a adoção de vãos maiores e o uso de seções transversais dos elementos estruturais cada vez menores, porém suportando as mesmas cargas que antes eram suportadas por elementos com maiores áreas de seção transversal. Esse desenvolvimento trouxe a redução da inércia e, conseqüentemente, o aumento das deformações (Martins, 2008).

Usualmente os projetos estruturais são feitos com base na resistência à compressão. Para entender melhor o comportamento real do material, além da resistência à compressão, é preciso conhecer as propriedades de deformação a serem utilizados, como módulo de elasticidade e outros parâmetros, por exemplo, a

retração e a fluência para melhor expressar as condições dos estados limites de serviço.

De acordo com Melo Neto & Helene (2002), as normas atuais relacionam o módulo de elasticidade de um concreto com a sua resistência à compressão através de fórmulas matemáticas, devido a uma maior complexidade de determinação do módulo de elasticidade do concreto em relação à determinação de sua resistência à compressão.

Porém essas fórmulas não são válidas para todas as idades do concreto, pois não levam em conta diversos fatores. Segundo Santos *et al* (2013), os maiores transtornos, entre elas trincas e fissuras, são causados pela não consideração das deformações e dos deslocamentos corretos nas idades iniciais. Desformas prematuras podem vir a causar flechas excessivas em lajes. Isso mostra a necessidade de conhecer bem a relação entre o módulo e a resistência, não somente para a idade de 28 dias, mas principalmente para idades menores do concreto.

São poucas as publicações referentes às ações da construção em concreto armado, havendo uma escassez de pesquisas mais detalhadas sobre as características do concreto na retirada das escoras e a verificação dos estados limites de segurança e de utilização. E com o propósito da garantia de segurança e eficiência nas estruturas de concreto, as pesquisas e experimentos práticos são considerados cada vez mais importantes.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho foi estruturado em 6 capítulos. No primeiro capítulo foi abordada a introdução da pesquisa que manifesta a importância do sistema de suporte de pavimentos, de que modo devem ser projetados os escoramentos e uma indicação da norma sobre a retirada das fôrmas e escoramentos. Ainda no primeiro capítulo, foi discutida a justificativa em relação à resistência do concreto, módulo de elasticidade e sistema de escoramentos.

Já no segundo capítulo trata dos conceitos sobre o sistema de suporte utilizado, recomendações normativas sobre as estruturas em concreto armado e a determinação do módulo de elasticidade aos 28 dias e para idades entre 7 e 28 dias.

No terceiro capítulo observa-se a metodologia que será utilizada no trabalho e a definição para os casos que serão analisados.

O quarto capítulo contém as características da edificação, a descrição do sistema de fôrmas elaborado para este trabalho, a disposição dos escoramentos, suas áreas de influência e o carregamento da edificação.

O quinto capítulo descreve os casos em estudo e os resultados obtidos nas análises das flechas e momentos fletores nas duas direções.

Por fim, no sexto capítulo são descritas as conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos Gerais

Durante a construção de um prédio em concreto armado, os pavimentos são sustentados por um determinado tempo pelos pavimentos inferiores através do sistema de suporte formado pelas fôrmas, escoras e escoras remanescentes. É esse sistema que sustenta o concreto ainda fresco de vigas e lajes, até que os elementos de concreto adquiram resistência suficiente para suportar os carregamentos.

As fôrmas são os locais onde o concreto é lançado para moldar os elementos estruturais a fim de dar a forma especificada e suportar o concreto fresco até que ele atinja resistência suficiente. Atualmente, no Brasil, para a fabricação das fôrmas é muito utilizada madeira compensada em substituição a madeira serrada, conforme a Figura 1. A madeira compensada é formada por lâminas delgadas, geralmente obtidas do *Pinus Elliotti*, coladas umas sobre as outras com as fibras orientadas a 90° formando chapas com espessura que variam de 10 a 18 milímetros.

Figura 1 - Fôrmas de madeira compensada



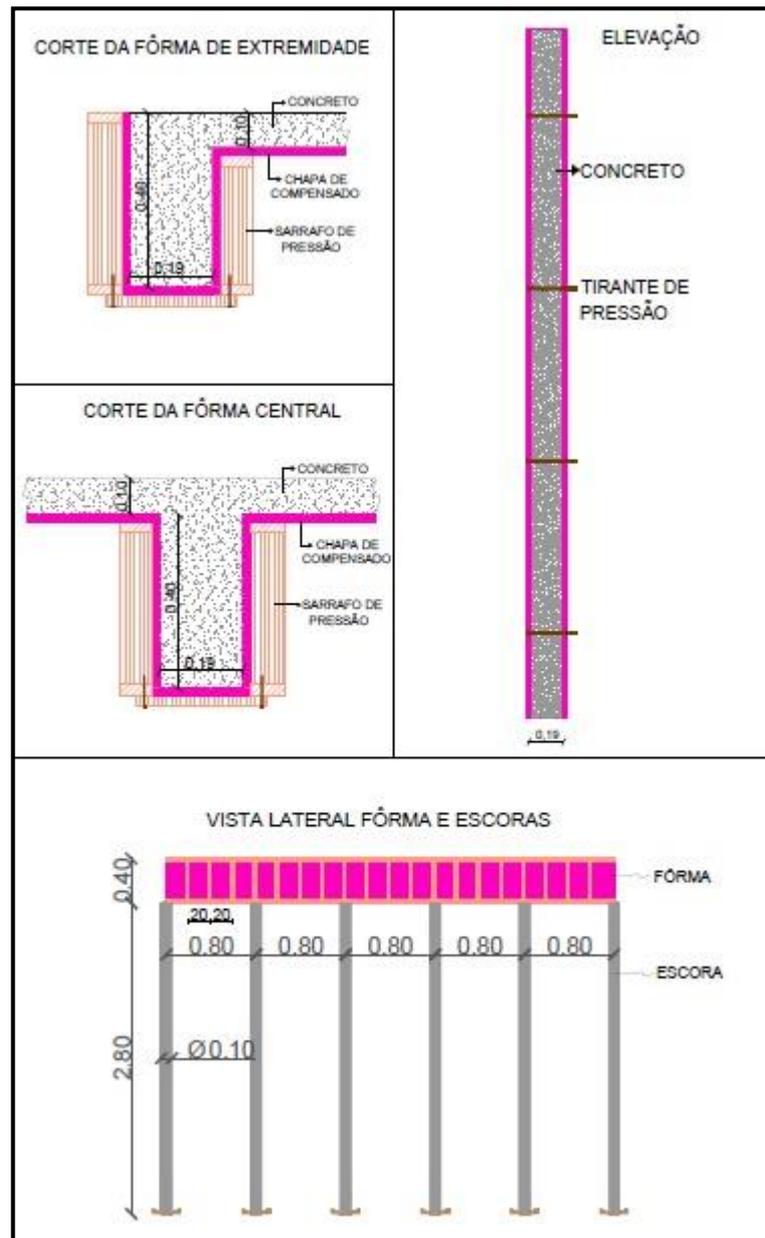
Fonte: <http://vivercon.com.br/concreto.asp>

Segundo Assahi (2004, pg.7) a fôrma é um equipamento, e como tal, precisa apresentar as seguintes características:

- Praticidade: Manuseio fácil na montagem, desforma e transporte;
- Eficiência: Bom desempenho aliado à boa produtividade;
- Durabilidade: Ter a vida útil prevista;
- Econômico: Melhor custo total.

O projeto de fôrmas é destinado para manuseio e compreensão da equipe de campo. Deve ser apresentado de forma adequada para uma clara, completa e objetiva interpretação no canteiro de obra. A Figura 2 ilustra um modelo de fôrmas confeccionado para o cálculo do peso das fôrmas que será discutido futuramente neste trabalho.

Figura 2 - Modelo da fôrma (Corte, Elevação e Vista)



Fonte: Elaboração própria

As escoras são elementos verticais (produzidos em madeira ou aço) utilizados para a sustentação do pavimento. Para a sua instalação é necessário que sejam tomadas duas medidas: de que sejam instaladas de modo a impedir o deslocamento no topo ou na base (quando em uso); e utilizar travamento horizontal para aumentar a capacidade de suporte do sistema (Freitas, 2004). A Figura 3 ilustra a disposição das escoras em madeira.

Figura 3 - Disposição das escoras metálicas



Fonte: <http://www.mixandaimes.com.br/produtos/5/ESCORA-PONTUAL>

As escoras remanescentes são semelhantes às escoras, porém sem forma associada e são utilizadas para apoiar as lajes parcialmente curadas após a remoção das fôrmas e escoras.

Segundo Freitas (2004, pg. 19), as escoras remanescentes fazem-se necessárias nas seguintes situações:

- Quando ainda não foi atingida a resistência total da estrutura, e deseje-se retirar as fôrmas para idades do concreto menores que 28 dias;
- Quando, antes dos 28 dias, precisa-se deslocar um equipamento sobre a estrutura de ação maior que a sobrecarga de projeto.

2.2 Processo Construtivo Tradicional

O processo construtivo tradicional é marcado pela remoção total de fôrmas e escoras para a realização do reescoramento (escoramento remanescente), ou seja, as escoras são instaladas sem pré-carga. Esse modelo é utilizado principalmente para escoras de madeira.

As ações atuantes durante as etapas construtivas são introduzidas nos pavimentos no período de construção através de uma sequência repetida de operações. No processo construtivo convencional normalmente há cinco operações

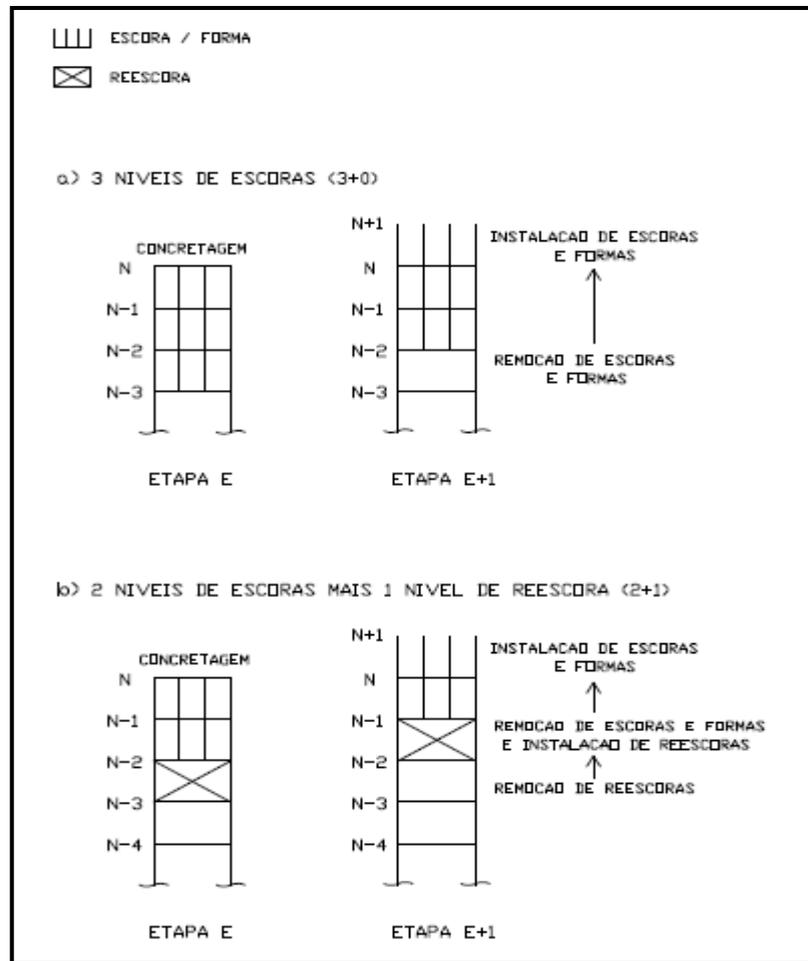
básicas de construção, que pode ter um número variado de níveis escoras e escoras remanescentes. Segundo Prado (1999, pg. 9), essas operações constituem-se em:

- I. Remoção do nível mais baixo de escoras remanescentes;
- II. Remoção do nível mais baixo de escoras e fôrmas;
- III. Instalação das escoras remanescentes no nível do pavimento onde as escoras e fôrmas foram removidas;
- IV. Instalação das escoras e fôrmas para concretagem do próximo pavimento;
- V. Concretagem.

Caso o processo construtivo convencional não utilize as escoras remanescentes, as operações I e III serão eliminadas.

A Figura 4 ilustra as operações básicas de construção citadas, para dois processos de construção diferentes: a) Três níveis de escoras (3+0); e b) Dois níveis de escoras mais um nível de reescora (2+1).

Figura 4 - Operações básicas em processos de construção de edifícios em concreto armado



Fonte: Prado, 1999.

2.3 Ações Atuantes Nas Etapas De Construção

Conforme Freitas (2004), para garantir a segurança nas etapas construtivas de uma estrutura em concreto armado é necessário, antes de tudo, um bom conhecimento das ações de construção que atuam no sistema temporário de apoio como também dos fatores que influenciam a distribuição dessas ações em escoras, escoras remanescentes, vigas e lajes.

As ações horizontais são causadas pelo impacto produzido no lançamento do concreto, e pelo vento. Para este trabalho as ações horizontais serão desconsideradas, não fazendo parte desse estudo. Já as ações verticais são

causadas pelo peso próprio do concreto, peso do sistema de suporte (fôrmas, escoras e escoras remanescentes) e pelas ações variáveis de construção.

2.4 Recomendações Normativas Referentes às Etapas de Construção

As principais normas utilizadas para projeto, execução e segurança de estruturas em concreto armado são: NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto, a NBR 14931:2004 - Execução de Estruturas de Concreto, NBR 8681:2003 - Ações e Segurança das Estruturas e a NBR 15696:2009 - Fôrmas e Escoramentos para Estruturas de Concreto.

De acordo com Salvador (2013, pg. 28), as normas vigentes permitem que os modelos estruturais utilizados pelos responsáveis do projeto, considerem a resistência na idade de 28 dias das estruturas de concreto como aquela a ser utilizada para suportar as solicitações decorrentes das cargas de serviço. Tal procedimento é amplamente utilizado. No entanto, em um grande número de situações, não são consideradas solicitações as quais a estrutura possa ser submetida durante o processo construtivo, estando o concreto da estrutura com propriedades mecânicas inferiores às estimadas para a idade de 28 dias .

2.4.1 Recomendações da NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT, 2014)

A norma indica que as estruturas devem atender aos requisitos mínimos de qualidade durante sua construção, ligados a capacidade de resistência, desempenho em serviço e durabilidade. A mesma norma recomenda que as verificações das etapas construtivas estejam incluídas no projeto e que sejam realizadas considerando a parte da estrutura já executada e o sistema de suporte com os respectivos pesos próprios, além das ações variáveis de construção.

Com relação à verificação de segurança para a estrutura é realizada considerando-se a combinação última normal, nessa combinação estão incluídas as ações permanentes e a ação variável principal com o seu valor característico. A

combinação última normal é utilizada para descrever o esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado, assim o valor de cálculo das ações para essa combinação última é expressa por:

$$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_q \cdot F_{qk} \quad (1)$$

Onde:

F_d é o valor de cálculo das ações para combinação última;

F_{gk} representa as ações permanentes diretas;

F_{q1k} representa as ações variáveis diretas;

γ_g e γ_q representam os coeficientes de majoração;

Os coeficientes de majoração para carga permanente desfavorável e para carga variável em geral valem $\gamma_g = \gamma_q = 1,4$.

A combinação última especial ou de construção, é a combinação onde devem estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial com seu respectivo valor característico e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível. O cálculo para essa combinação é realizado com a Equação 1, sendo que os coeficientes de majoração, para a carga permanente favorável e carga variável γ_g e γ_q valem 1,0.

Outro fator a ser analisado no estado limite último é a redução de rigidez das vigas e pilares. Segundo a norma, para a análise dos esforços globais de 2ª ordem, em estruturas reticuladas com no mínimo quatro andares, pode ser considerada a não linearidade física de maneira aproximada, tomando-se como rigidez dos elementos estruturais os seguintes valores:

- Vigas = $0,4 \cdot E_{ci}$;
- Pilares = $0,8 \cdot E_{ci}$

2.4.2 Recomendações da NBR 14931 – Execução de Estruturas de Concreto (ABNT, 2004)

Com relação às etapas construtivas relacionadas ao escoramento, a norma enuncia alguns itens que devem ser levados em consideração para o sistema de escoramento, como por exemplo:

- Nenhuma carga deve ser imposta e nenhum escoramento removido de qualquer parte da estrutura enquanto não houver certeza de que os elementos estruturais e o novo sistema de escoramento têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estarão sujeitos;
- Nenhuma ação adicional, não prevista nas especificações de projeto ou na programação da execução da estrutura de concreto, deve ser imposta à estrutura ou ao sistema de suporte sem que se comprove que o conjunto tem resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estará sujeito;
- A análise estrutural e os dados de deformabilidade e resistência do concreto usados no planejamento para a reestruturação do escoramento devem ser fornecidos pelo responsável pelo projeto estrutural ou pelo responsável pela obra conforme acordado;
- A verificação de que a estrutura de concreto suporta as ações previstas, considerando a capacidade de suporte do sistema de escoramento e os dados de resistência e deformabilidade do concreto.

Para a retirada do sistema de suporte, a norma não indica nenhum tipo de prazo em dias, apenas deixa indicado que só pode ser retirado quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto e a maior deformação diferida no tempo quando o concreto é solicitado com idades inferiores aos 28 dias.

2.4.3 Recomendações da NBR 8681 – Ações e Segurança das Estruturas (ABNT, 2004)

Para critério geral da verificação da segurança em relação aos possíveis estados limites, a norma cita que para cada tipo de carregamento devem ser consideradas todas as combinações de ações que possam acarretar os efeitos mais desfavoráveis nas seções críticas da estrutura.

A segurança das estruturas deve ser verificada em relação a todos os possíveis estados que são admitidos como limites para a estrutura considerada. Com relação aos estados limites é verificada tanto pelo respeito às condições analíticas quanto pela obediência às condições construtivas.

2.4.4 Recomendações da NBR 15696 – Fôrmas e Escoramentos para Estruturas de Concreto (ABNT, 2009)

A norma apresenta critérios importantes para a utilização de escoramentos remanescentes após a desfôrma do pavimento.

São fatores que influenciam os escoramentos remanescentes:

- O peso próprio da laje e demais componentes do pavimento;
- A dimensão dos panos de lajes;
- O ciclo de concretagem dos pavimentos posteriores;
- Sobrecarga de uso e cargas permanentes;
- Resistência e Módulo de Elasticidade nos prazos de reescoramento;
- Resistência e Módulo de Elasticidade final do concreto aos 28 dias.

A norma ainda cita informações e as verificações que devem constar em um projeto de concreto como: a distribuição e posicionamento dos elementos resistentes, as características de resistência e deformabilidade dos elementos resistentes, as capacidades de carga dos pavimentos inferiores nas diversas idades e o processo de remoção do escoramento remanescente.

2.5 Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto

2.5.1 Introdução

As propriedades do concreto endurecido como o peso específico, porosidade, fluência, retração, resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, entre outras, são estabelecidas através de ensaios que devem ser realizados para controle de qualidade e atendimento as especificações exigidas. São essas propriedades que servem como base para que uma estrutura em concreto armado seja dimensionada.

A grande maioria dos projetos estruturais é feito com base na resistência à compressão, porém para que se aproxime de uma maneira mais realista ao comportamento do material, é de grande interesse conhecer o módulo de elasticidade, retração, fluência e outros parâmetros que expressem as condições dos estados limites de serviço (Santos *et al.* 2013, pg. 3).

Para esse estudo, dentre as propriedades do concreto endurecido, será analisado também o módulo de elasticidade.

2.5.2 Módulo de Elasticidade

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014, pg. 24), quando não forem realizados ensaios, o módulo de elasticidade inicial (E_{ci}) pode ser estimado através das seguintes expressões:

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot \sqrt{fck}, \text{ para } fck \text{ de } 20 MP_a \text{ a } 50 MP_a; \quad (2)$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_e \cdot \left[\left(\frac{fck}{10} \right) + 1,25 \right]^{\frac{1}{3}}, \text{ para } fck \text{ de } 55 MP_a \text{ a } 90 MP_a. \quad (3)$$

sendo:

$\alpha_e = 1,2$ para basalto e diabásio

$\alpha_e = 1,0$ para granito e gnaisse

$\alpha_e = 0,9$ para calcário

$\alpha_e = 0,7$ para arenito

onde:

E_{ci} e fck são dados em megapascal (MP_a).

E o módulo de deformação secante (E_{cs}) pode ser estimado pela expressão:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (4)$$

sendo

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \left(\frac{fck}{80} \right) \leq 1,0 \quad (5)$$

A tabela 1 apresenta valores estimados de módulo de elasticidade que podem ser usados no projeto estrutural.

Tabela 1 - Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica à compressão do concreto

Classe de Resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

Fonte: NBR 6118 (2014, pg. 25)

Ainda conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014, pg. 25), o módulo de elasticidade do concreto pode ser avaliado para idades entre 7 e 28 dias pelas seguintes expressões:

$$E_{ci(t)} = \left[\frac{f_{c(t)}}{f_c} \right]^{0,5} \cdot E_{ci}, \text{ para concretos com } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MP}_a \text{ a } 45 \text{ MP}_a; \quad (6)$$

$$E_{ci(t)} = \left[\frac{f_{c(t)}}{f_c} \right]^{0,3} \cdot E_{ci}, \text{ para concretos com } f_{ck} \text{ de } 50 \text{ MP}_a \text{ a } 90 \text{ MP}_a. \quad (7)$$

onde

$E_{ci(t)}$ é a estimativa do módulo de elasticidade do concreto em uma idade entre 7 dias e 28 dias;

E_{ci} é o módulo de elasticidade aos 28 dias, em megapascal (MP_a);

$f_{c(t)}$ é a resistência à compressão do concreto na idade em que se pretende estimar o módulo de elasticidade, em megapascal (MP_a);

f_c é a resistência à compressão do concreto (MP_a).

Devido às patologias nas alvenarias e em estruturas de concreto com pouca idade, torna-se necessário o conhecimento do módulo de elasticidade em idades iniciais. Com isso, muitos projetistas compreendem que o sistema de suporte deva permanecer por mais tempo no local de sua instalação, e que os carregamentos dos

materiais de construção precisam ser evitados sobre as lajes até que as resistências iniciais estejam dentro de um limite padrão.

2.6 Cuidados com Relação às Fôrmas e os Escoramentos

Segundo a NBR 14931:2004 (pg. 23), as fôrmas e escoramentos devem ser removidos de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido e de maneira a não comprometer a segurança e desempenho em serviço da estrutura.

A norma ainda cita que para efetuar a remoção das fôrmas e escoramentos devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Peso próprio da estrutura ou da parte a ser suportada por um determinado elemento estrutural;
- Cargas devidas a fôrmas ainda não retiradas de outros elementos estruturais (pavimentos);
- Sobrecargas de execução, como movimentação de operários e materiais sobre o elemento estrutural;
- Sequência de retirada das fôrmas e escoramentos e a possível permanência de escoramentos;
- Condições ambientais a que será submetido o concreto após a retirada das fôrmas e as condições de cura.

A retirada das fôrmas e do escoramento só pode ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade inicial (E_{ci}) e a maior probabilidade de grande deformação diferida no tempo quando o concreto é solicitado com pouca idade.

Durante muito tempo, o prazo mínimo para retirada do sistema de suporte era estabelecido através da Tabela 2, conforme indicado por Azevedo (1977) *apud* Maranhão (2000, pg. 164).

Tabela 2 - Prazo mínimo para retirada de fôrmas

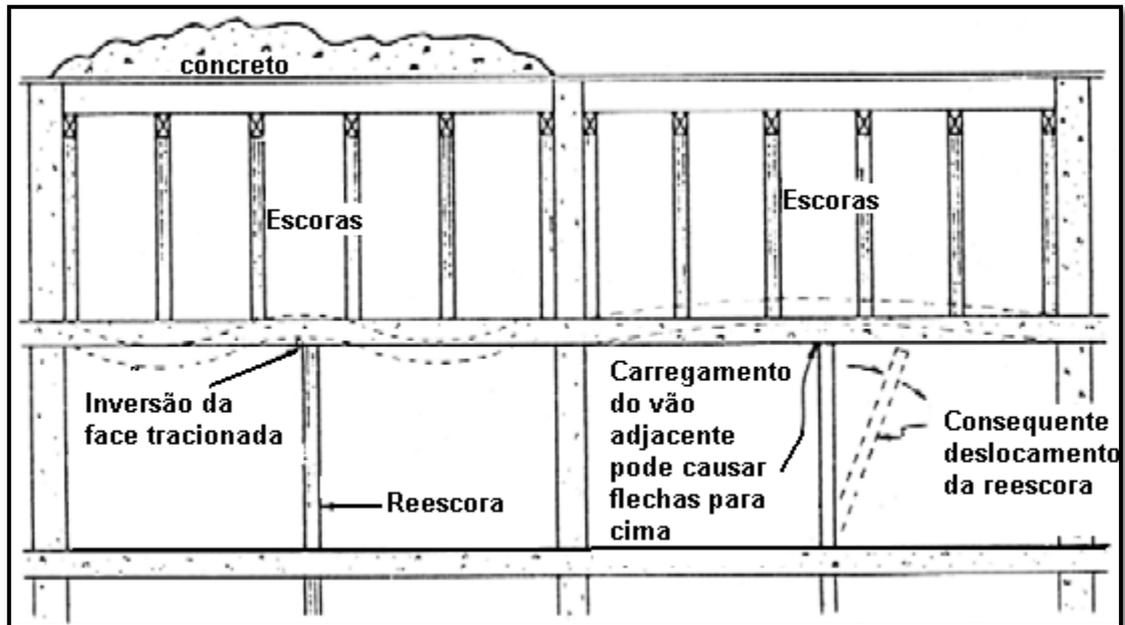
Fôrmas aplicadas em:	Concreto Comum
Paredes, pilares e faces laterais das vigas	03 dias
Lajes até 10 cm de espessura	07 dias
Faces inferiores de vigas e lajes, com escoras acunhadas e espaçadas	14 dias
Lajes com mais de 10 cm de espessura e faces inferiores de vigas de até 10 m de vão	21 dias

Fonte: Azeredo (1977) *apud* Maranhão (2000)

Atualmente, embora estes prazos ainda possam ser utilizados como mera referência, a rigor a retirada final do sistema de suporte somente deverá acontecer após atingido o valor do módulo de elasticidade do concreto. Este, obrigatoriamente, deverá constar, de forma bastante clara, nas especificações do projeto estrutural (Manual de Fundamentos do Projeto Estrutural – Sinduscon-CE, 2011).

De acordo com o American Concrete Institute - 347 (ACI, 1994) *apud* Freitas (2004, pg. 25), as reescoras ou escoras remanescentes apoiadas diretamente na laje e instaladas em pavimentos intermediários não podem se localizar fora do mesmo alinhamento das escoras dos pavimentos superiores caso a rigidez da laje não seja suficiente para combater a inversão de esforços e o efeito de punção. Essa situação é ilustrada conforme a Figura 5.

Figura 5 - Posição inadequada do escoramento



Fonte: ACI Committee 347 (1994)

Os escoramentos que sustentam um pavimento recém concretado são necessariamente suportados por pavimentos inferiores que, geralmente, não são projetados considerando o carregamento de construção. Por essa razão, o sistema temporário de apoio deve possuir um número mínimo de pavimentos escorados e/ou reescorados, necessários para permitir que o concreto desenvolva resistência suficiente para suportar o carregamento a que está submetido nessas etapas, e não ficar submetido a um estado de tensões e deformações além dos previstos em projeto (Freitas, 2004 pg. 25).

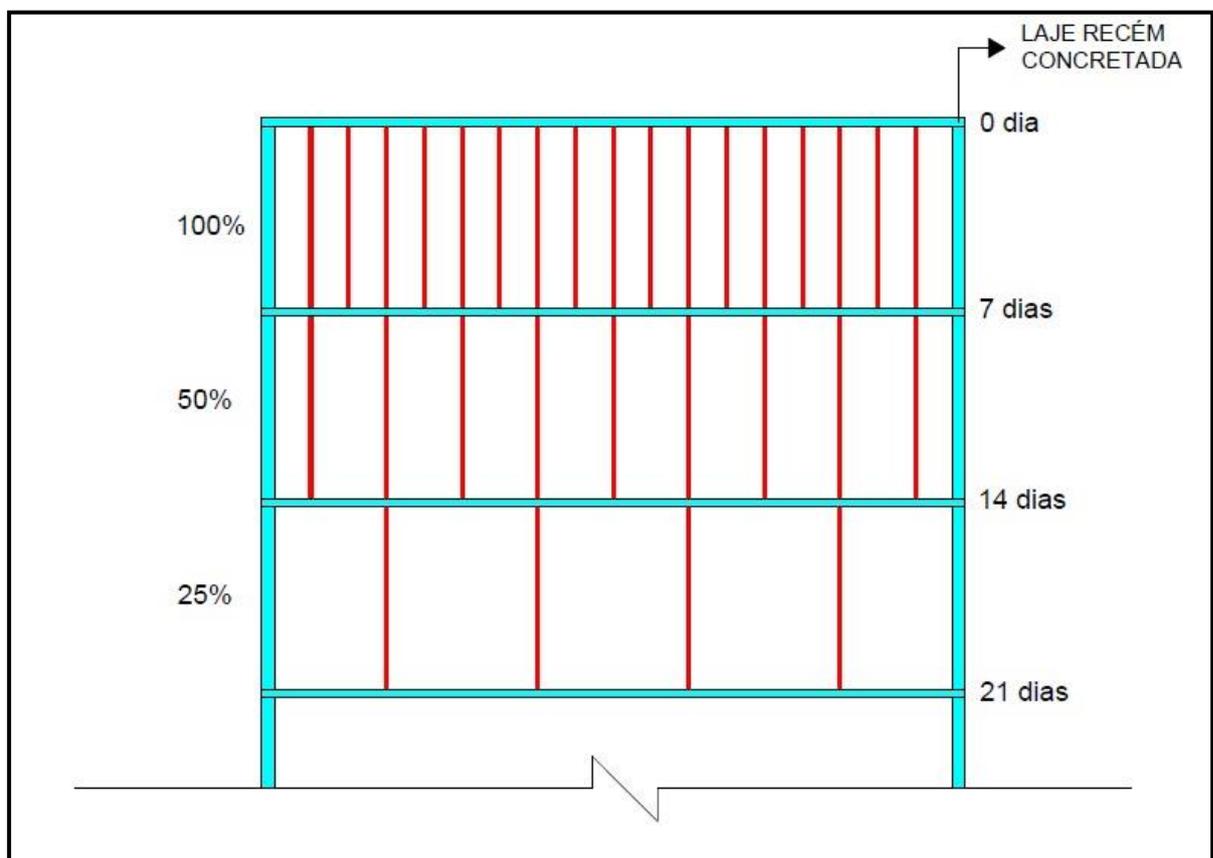
3 METODOLOGIA

Foi utilizado o projeto de um edifício com múltiplos pavimentos, o qual foi desenvolvido em um “software” de elementos finitos, o SAP2000 v.12 que permite a modelagem tridimensional das estruturas, necessárias para que sejam feitas as verificações dos esforços nas lajes e flechas das lajes durante as etapas construtivas.

Simularam-se três casos de escoramento para as vigas e lajes durante as etapas construtivas:

- Caso I: O pavimento recém concretado com 100% do escoramento sobre uma laje de concreto com idade referente aos 7 dias, o pavimento inferior com 50% das escoras apoiado na laje com idade de 14 dias, e o pavimento seguinte com 25% das escoras e a laje com idade de 21 dias. Como ilustração, pode-se verificar na Figura 6 a descrição para o primeiro caso de escoramento.

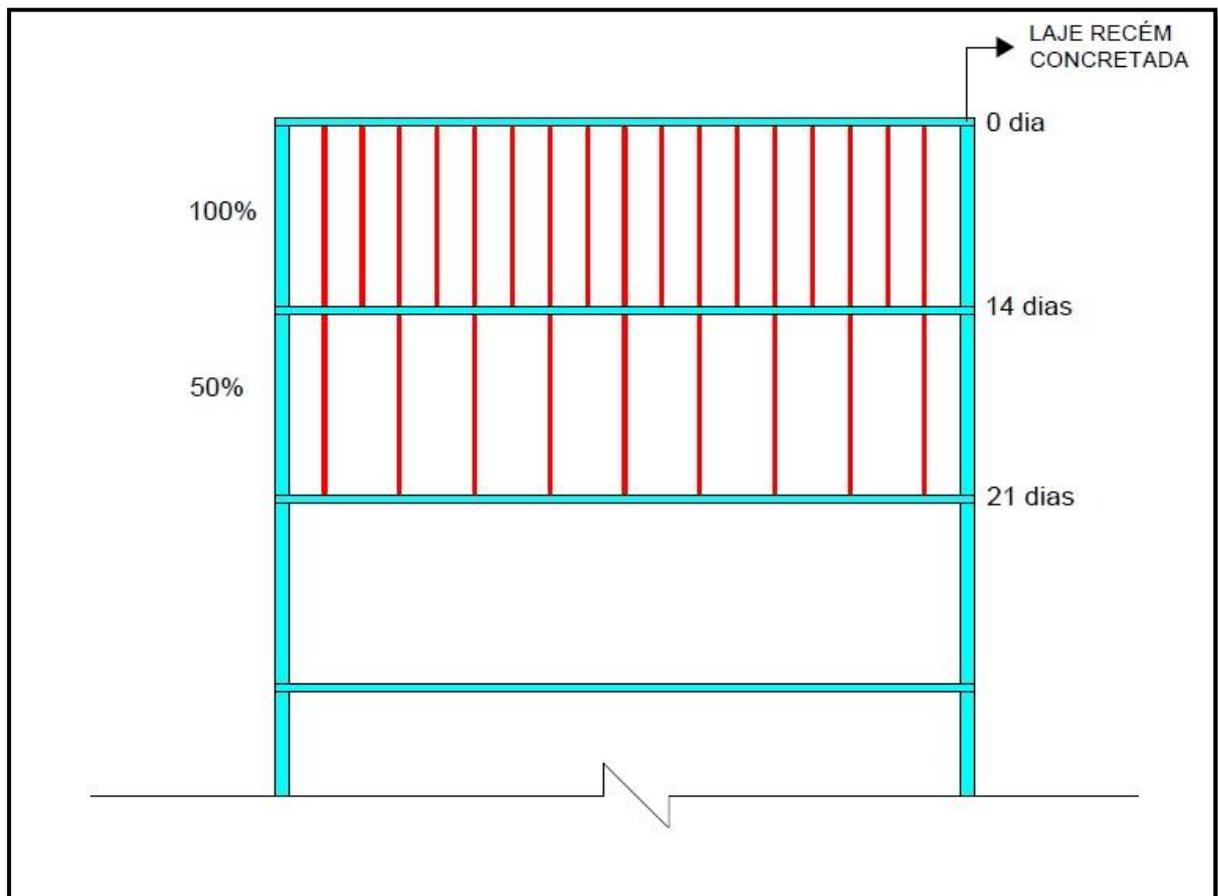
Figura 6 - Imagem ilustrativa da disposição das escoras para o caso I



Fonte: Elaboração própria

- Caso II: O pavimento recém concretado está com 100% do escoramento sobre a laje de concreto com 14 dias de idade e o pavimento abaixo com 50% das escoras e idade do concreto de 21 dias. Na Figura 7, é possível visualizar a definição do segundo caso de escoramento.

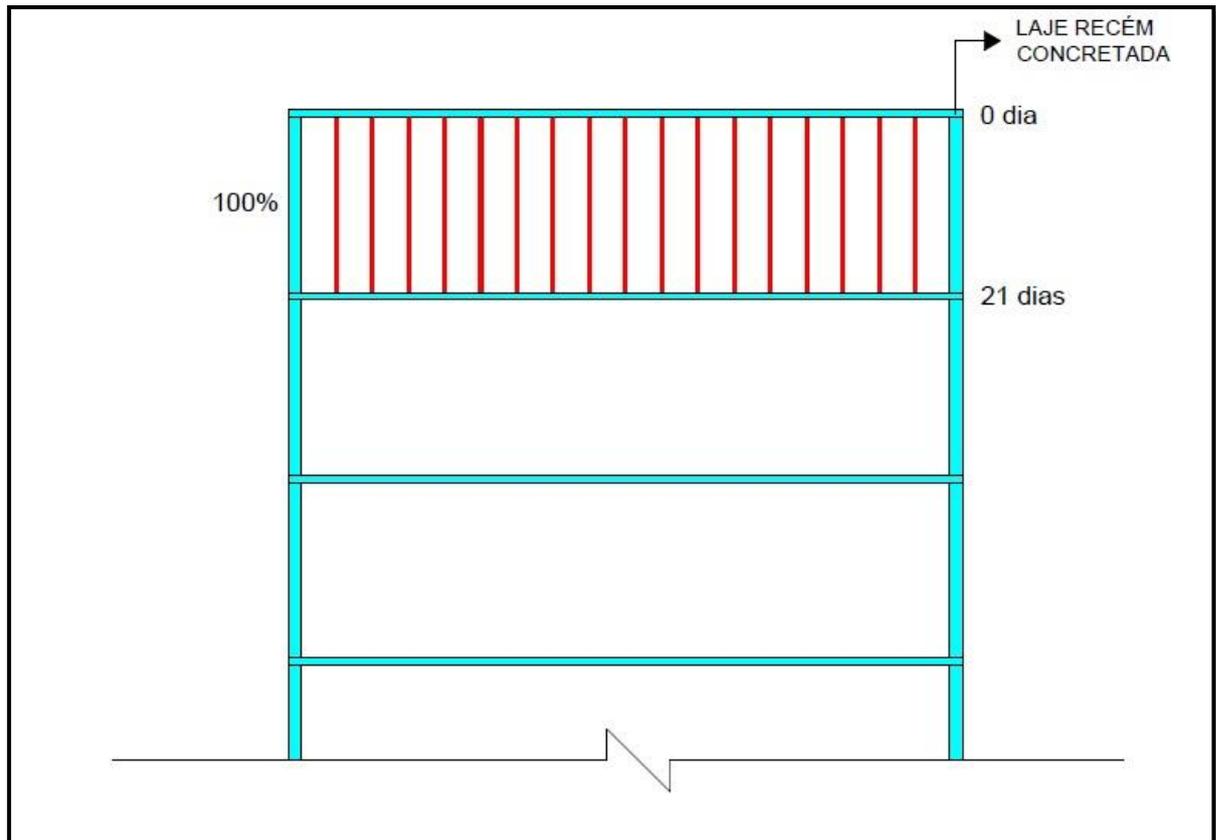
Figura 7 - Imagem ilustrativa da disposição das escoras para o caso II



Fonte: Elaboração própria

- Caso III: Somente o pavimento recém concretado com 100% do escoramento, sobre a laje com idade de concreto referente aos 21 dias, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Imagem ilustrativa da disposição das escoras para o caso III



Fonte: Elaboração própria

O modelo construtivo proposto busca analisar a sequência natural de construção visando os resultados de esforços solicitantes e as deformações causadas durante a fase de execução da obra. O modelo leva em conta o cronograma construtivo com sobreposição gradual de pavimentos e modelagem do sistema de escoramento e a posição das escoras, considerando as características de resistência e deformação de lajes e vigas em função do tempo de amadurecimento do concreto.

Para o cálculo dos esforços solicitantes nos elementos estruturais e nos deslocamentos, foram feitas análises comparativas dos resultados apresentados nas cargas de projeto com as cargas de construção para os casos I, II e III visando uma aproximação do que foi projetado com a que está sendo construída, e quais os efeitos que iriam ocorrer caso a carga de construção fosse maior que a carga de projeto.

Desse modo, foi desenvolvido o caso IV desse mesmo projeto já com edificação concluída considerando somente as cargas verticais permanentes e acidentais para o estado limite último normal, com o propósito de comparar os esforços nas lajes e as flechas das lajes neste caso IV com os três casos de escoramentos citados anteriormente, considerando esses três casos para o estado limite de construção.

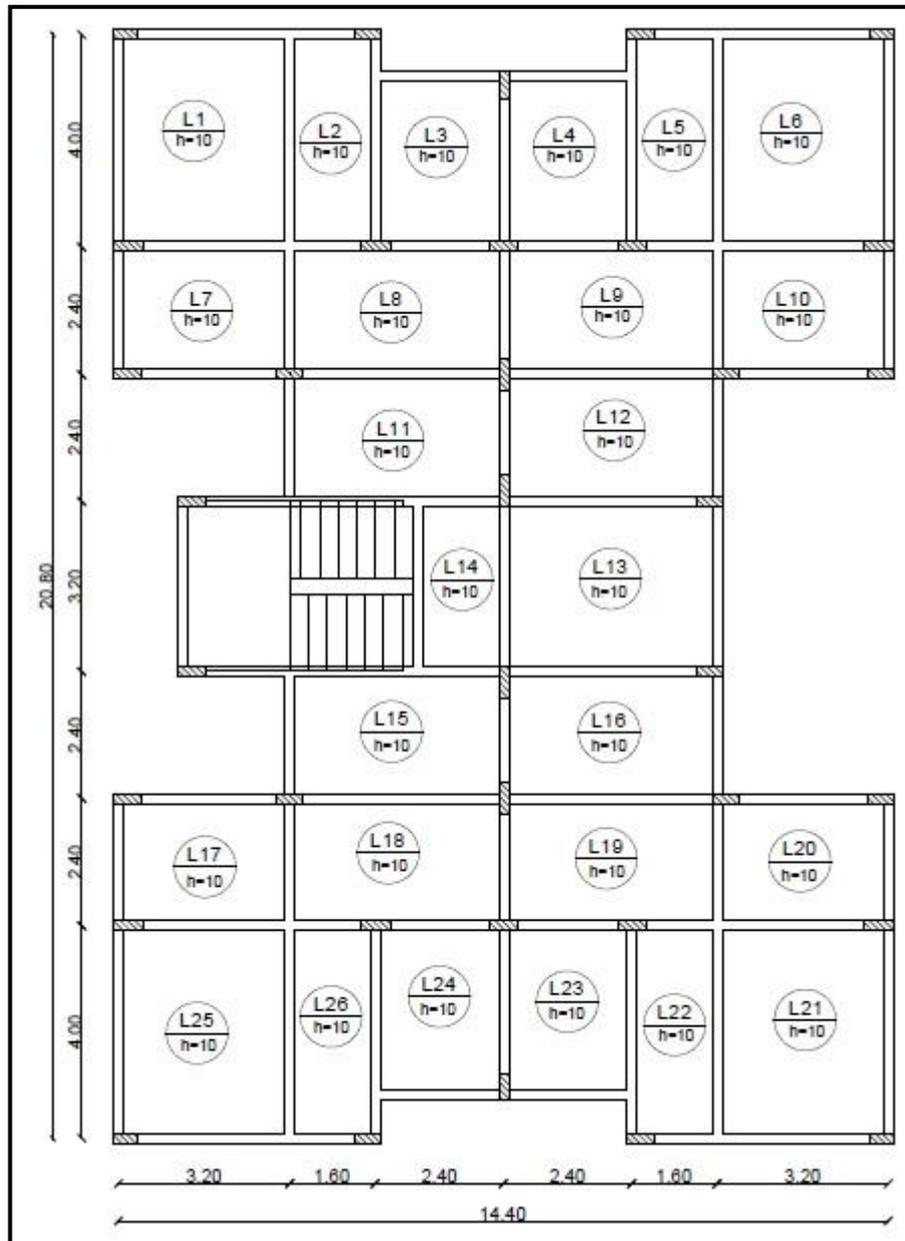
4 CARACTERÍSTICAS DO TRABALHO

Para a caracterização do trabalho, foi realizado o estudo apresentado a seguir, a fim de esclarecer alguns parâmetros da edificação a serem utilizados.

4.1 Definição da Edificação

A edificação escolhida possui oito pavimentos com paredes externas e internas com espessura de 19 cm. A estrutura em concreto armado foi dimensionada para fins residenciais, sendo a resistência característica do concreto (f_{ck}) de 25 MP_a . Na Figura 9, a planta tipo cotada com a numeração das lajes do pavimento tipo com a geometria dos elementos estruturais. É uma edificação que possui a planta baixa espelhada, ou seja, a vista frontal é igual à vista de fundo, e possui um núcleo central com circulação de uso comum e vertical composta por uma escada.

Figura 9 - Planta baixa do pavimento tipo

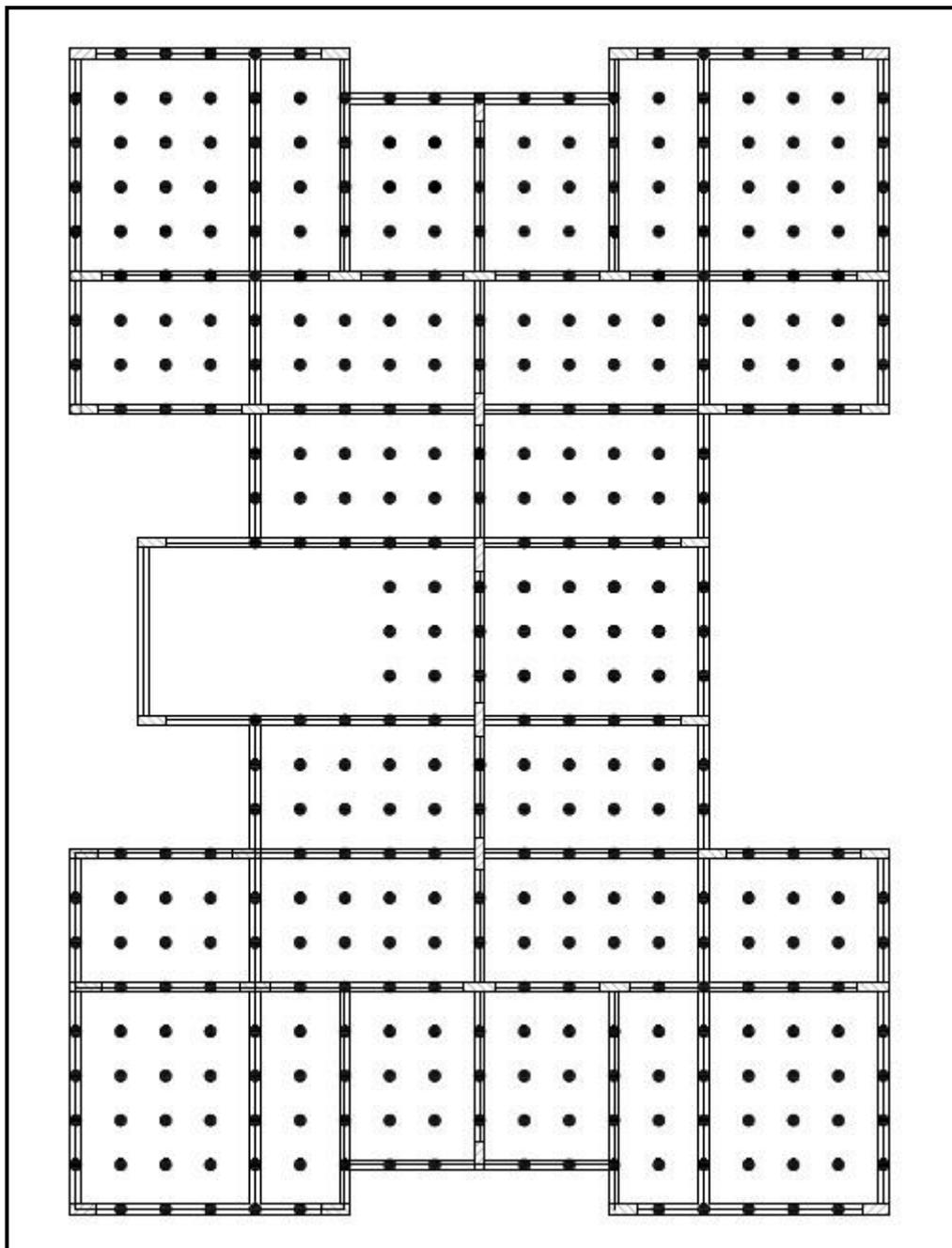


Fonte: Elaboração própria

4.2 Definição do Espaçamento Entre as Escoras

As escoras são instaladas como uma peça única em cada ponto a ser escorado e serão responsáveis por suportarem as cargas da construção. Estão distribuídas e igualmente espaçadas em 80 centímetros, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Espaçamento entre as escoras

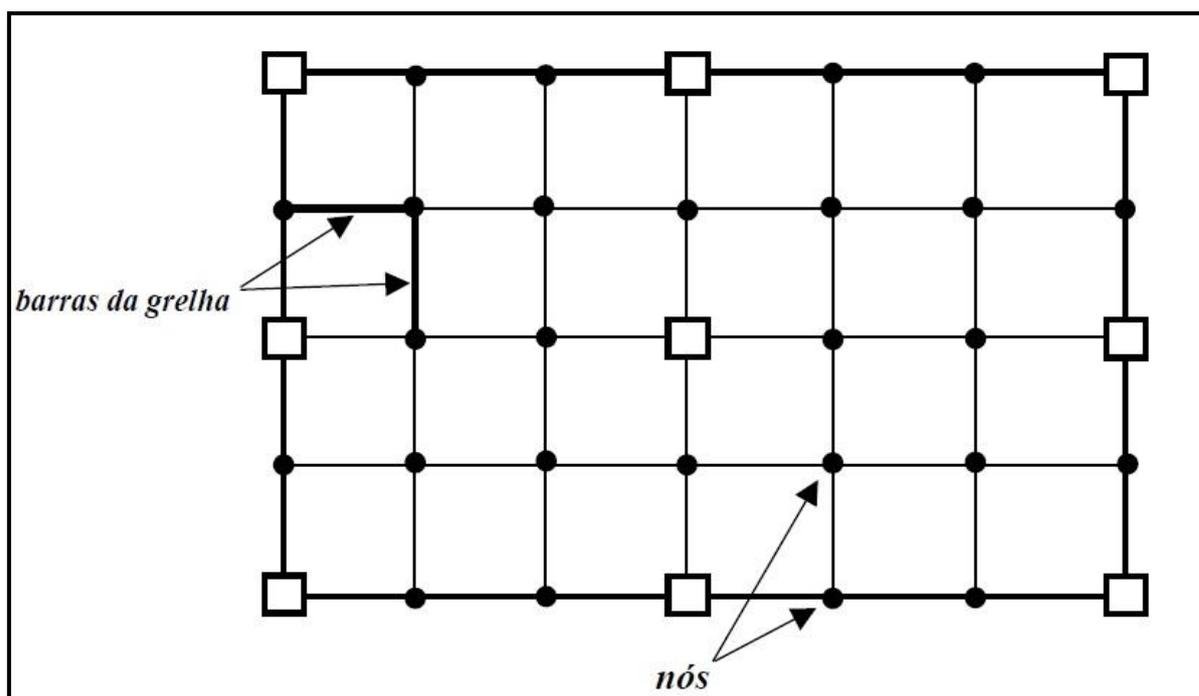


Fonte: Elaboração própria

4.3 Análise das Lajes

A configuração das lajes maciças de concreto armado foi analisada no programa SAP2000 v.12, com base no modelo simplificado de grelha com espaçamento entre as barras de 40 centímetros. As cargas das escoras serão aplicadas perpendicularmente nos nós da malha, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Malha dos elementos da barra no modelo de grelha



Fonte: Hennrichs (2003)

4.4 Cargas de Projeto

O carregamento permanente é formado pelo peso próprio da estrutura com o concreto fresco (viga, laje e pilar) e pelo peso do sistema de suporte. O carregamento acidental adotado foi de $1 \text{ kN}/\text{m}^2$, referente ao peso e movimentação dos trabalhadores, equipamentos e máquinas em funcionamento, impacto produzido pelo concreto. Em sua pesquisa, Prado (1999) afirma que as normas que se referem ao assunto apenas indicam um determinado valor para essas ações, não especificando se elas atuam em todos os pavimentos, só nos que pertencem ao sistema de suporte ou, ainda, apenas no que está sendo preparado para a

concretagem. Desta forma, entre as referências bibliográficas pesquisadas procurou-se adotar esse valor.

4.4.1 Peso das Fôrmas

Com a finalidade de determinar o peso das fôrmas de madeira para as vigas e lajes da edificação, foi desenvolvido um modelo de cálculo estabelecido para a maior laje do projeto, que apresenta dimensões de 4,00 x 3,20 metros. A Tabela 3 mostra dois tipos de madeira bastante empregados na produção de fôrmas e seus respectivos pesos específicos, sendo estes utilizados na confecção deste modelo.

Tabela 3 - Tipo de madeira utilizada

Nome Comum da Madeira	Peso Específico (kN/m^3)
Eucalipto Grandis	6,4
Chapa Compensada	5,5

Fonte: NBR 7190 (1997, pg. 90/91)

Para a produção das fôrmas para as lajes, foram utilizadas 4 mestras com seção transversal 2,5 x 15 centímetros com 3,20 metros de comprimento e espaçadas em 80 centímetros, sobrepostas perpendicularmente, 6 barrotes com seção transversal de 5 x 7 centímetros com 4,00 metros de comprimento igualmente espaçados em 40 centímetros. E o fundo da laje, formado por chapas de compensado de 18 milímetros de espessura com dimensões de 1,20 x 2,40 metros.

Para o cálculo do peso de fôrma das lajes, temos:

$$\text{Fundo: } A_{laje} \cdot e_{chapa} \cdot \gamma_{chapa} \quad (8)$$

$$\text{Fundo: } 12,8 \text{ m}^2 \cdot 0,018 \text{ m} \cdot 5,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Fundo: } 1,2672 \text{ kN}$$

$$\text{Barrotes: } n^{\circ} \text{ de barrotes} \cdot A_{barrotes} \cdot \text{Comprimento}_{barrotes} \cdot \gamma_{madeira} \quad (9)$$

$$\text{Barrotes: } 6 \cdot 0,0035 \text{ m}^2 \cdot 4 \text{ m} \cdot 6,4 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Barrotes: } 0,5376 \text{ kN}$$

$$\text{Mestras: } n^{\circ} \text{ de mestras} \cdot A_{\text{mestras}} \cdot \text{Comprimento}_{\text{mestras}} \cdot \gamma_{\text{madeira}} \quad (10)$$

$$\text{Mestras: } 4 \cdot 0,00375 \text{ m}^2 \cdot 3,20 \text{ m} \cdot 6,4 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Mestras: } 0,3072 \text{ kN}$$

$$\text{Peso Total: } 1,2672 \text{ kN} + 0,5376 \text{ kN} + 0,3072 \text{ kN}$$

$$\text{Peso Total: } 2,112 \text{ kN}$$

$$\text{Peso Total da Fôrma para Laje: } \frac{\text{Peso Total}}{A_{\text{laje}}} \quad (11)$$

$$\text{Peso Total da Fôrma para Laje: } \frac{2,112 \text{ kN}}{12,8 \text{ m}^2}$$

$$\text{Peso Total da Fôrma para Laje: } 0,165 \text{ kN/m}^2$$

Para a fôrma das vigas, foi elaborada uma caixa com dimensões de 19 x 40 centímetros e 4,00 metros de profundidade. Foram utilizados 2 sarrafos de seção transversal de 2,5 x 7,5 centímetros nas laterais desta caixa com 4,00 metros de comprimento e 19 sarrafos na vertical, de mesma seção transversal, espaçados em 20 centímetros com 35 centímetros de altura. O fundo da fôrma da viga possui uma tábua de seção transversal de 2,5 x 30 centímetros com 4,00 metros de comprimento.

Para o dimensionamento de fôrmas das vigas, temos:

Para uma lateral da caixa da viga:

$$\text{Lateral: } \text{Comprimento}_{\text{fôrma}} \cdot A_{\text{compensado}} \cdot \gamma_{\text{chapa}} \quad (12)$$

$$\text{Lateral: } 4 \text{ m} \cdot 0,0072 \text{ m}^2 \cdot 5,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Lateral: } 0,1584 \text{ kN}$$

$$\text{Sarrafos Horiz.: } n^{\circ} \text{ de sarrafos} \cdot \text{Comprimento}_{\text{fôrma}} \cdot A_{\text{sarrafo}} \cdot \gamma_{\text{madeira}} \quad (13)$$

$$\text{Sarrafos Horiz.: } 2 \cdot 4 \text{ m} \cdot 0,001875 \text{ m}^2 \cdot 6,4 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Sarrafos Horiz.: } 0,096 \text{ kN}$$

$$\text{Sarrafos Vert.: } n^{\circ} \text{ de sarrafos} \cdot \text{Altura}_{\text{fôrma}} \cdot A_{\text{sarrafo}} \cdot \gamma_{\text{madeira}} \quad (14)$$

$$\text{Sarrafos Vert.: } 19 \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 0,001875 \text{ m}^2 \cdot 6,4 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Sarrafos Vert.: } 0,0124 \text{ kN}$$

$$\text{Total: } 0,1584 \text{ kN} + 0,096 \text{ kN} + 0,0124 \text{ kN}$$

Total: 0,2668 *kN*

Total para as duas laterais: $2 \cdot 0,2668 \text{ kN}$

Total para as duas laterais: 0,5336 *kN*

Fundo: $A_{\text{fundo}} \cdot \text{Comprimento} \cdot \gamma_{\text{madeira}}$ (15)

Fundo: $0,0075 \text{ m}^2 \cdot 4 \text{ m} \cdot 6,4 \text{ kN/m}^3$

Fundo: 0,192 *kN*

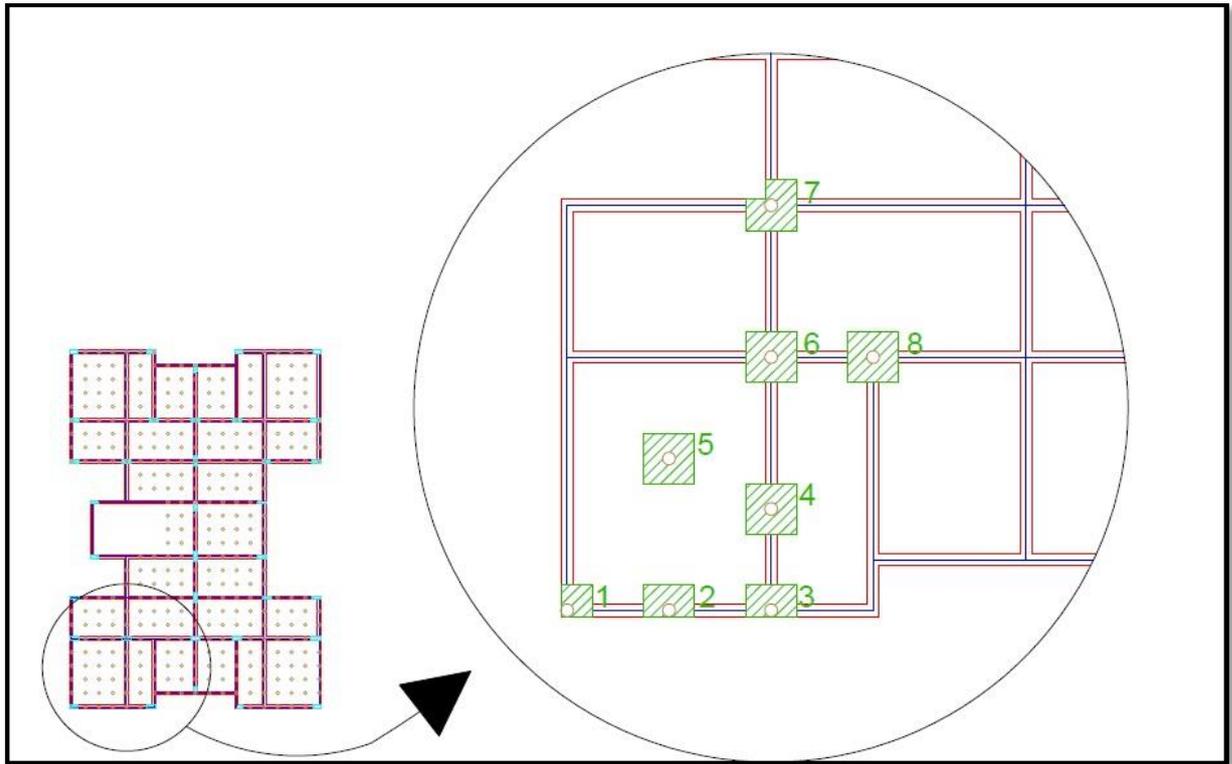
Peso Total da Fôrma para Viga para 4 m: $(0,5336 \text{ kN} + 0,192 \text{ kN}) / 4 \text{ m}$

Peso Total da Fôrma para Viga: 0,1814 *kN/m*

4.4.2 Área de Influência das Escoras

Foram analisadas as áreas de influência para a disposição das escoras do projeto e encontradas oito áreas com diferentes dimensões. Cada tipo de escora acomoda uma área de influência correspondente a uma parte da viga e uma parte da laje, com exceção da escora de número 5 que sustenta somente área de influência de laje, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Área de influência das escoras



Fonte: Elaboração própria

As oito áreas de influência encontradas para as diferentes escoras do projeto são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Áreas de influência das escoras

Nº DA ESCORA	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA LAJE (m ²)	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA VIGA (m ²)
1	0,093	0,152
2	0,244	0,152
3	0,134	0,21
4	0,488	0,152
5	0,64	0,00
6	0,372	0,267
7	0,279	0,267
8	0,43	0,2099

Fonte: Elaboração própria

4.5 Carga Total Aplicada em Cada Escora

A carga total aplicada em cada escora, para as diferentes áreas de influência encontradas é determinada pela seguinte equação:

$$P_{escora} = \gamma_g \cdot (P_{viga} + P_{laje}) + \gamma_q \cdot (Q_{laje} + Q_{viga}) \quad (16)$$

Sendo a carga a ser aplicada na viga (P_{viga}) e a carga a ser aplicada na laje (P_{laje}) são determinadas pelas seguintes expressões:

$$P_{laje} = (A_{i_l} \cdot P_l) + (\gamma_c \cdot h_l \cdot A_{i_l}) + (Q \cdot A_{i_l}) \quad (17)$$

$$P_{viga} = (L_v \cdot P_v) + (\gamma_c \cdot h_v \cdot A_{i_v}) + (Q \cdot A_{i_v}) \quad (18)$$

Onde:

L_v : Comprimento da viga, em metros;

P_v : Peso da fôrma da viga (0,1814 kN/m);

P_l : Peso da fôrma da laje (0,172 kN/m³);

h_v : Altura da viga (0,40 m);

h_l : Altura da laje (0,10 m);

A_{i_v} : Área de influência da viga, em m²;

A_{i_l} : Área de influência da laje, em m²;

γ_c : Peso específico do concreto (25 kN/m³);

γ_g : Coeficiente de majoração para carregamento permanente favorável de construção (1,0);

γ_q : Coeficiente de majoração para carregamento variável de construção (1,0);

Q : Carga acidental (1,5 kN/m²)

Através das equações (17) e (18) e com a utilização de uma planilha eletrônica com objetivo de simplificação dos cálculos, a carga total aplicada em cada escora é apresentada pela Tabela 5.

Tabela 5 – Carga total aplicada nas escoras

ESCORAS	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA LAJE (m ²)	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA VIGA (m ²)	COMPRIMENTO DE VIGA (m)	CARGA DA LAJE APLICADA NA ESCORA (KN)	CARGA DA VIGA APLICADA NA ESCORA (KN)	CARGA TOTAL APLICADA NA ESCORA (KN)
1	0,093	0,152	0,8	0,295	1,817	2,112
2	0,244	0,152	0,8	0,774	1,817	2,591
3	0,134	0,21	0,8	0,425	2,455	2,880
4	0,488	0,152	0,8	1,548	1,817	3,365
5	0,64	0,00	0,8	2,030	0,145	2,175
6	0,372	0,268	1,41	1,180	3,203	4,383
7	0,279	0,268	1,41	0,885	3,203	4,088
8	0,43	0,210	1,41	1,364	2,565	3,929

Fonte: Elaboração própria

4.6 Cargas na Edificação Concluída

No item anterior, foram determinadas as cargas totais que serão aplicadas nas escoras durante as etapas construtivas para os três diferentes casos de escoramentos definidos (caso I, caso II e caso III). A seguir, é feita a análise como se a edificação já estivesse concluída, atuando apenas as cargas referentes às ações permanentes e variáveis.

A carga permanente atuante em uma laje maciça de concreto armado é formada pelo peso próprio da laje, peso do contra piso (camada de regularização) e do piso. Para o cálculo dessa carga foi definido o contra piso composto de argamassa de cimento e areia com 4 centímetros de espessura e peso específico de 21 kN/m^3 segundo a NBR 6120 (ABNT, 1980) e piso cerâmico de 8,5 milímetros com peso específico de 18 kN/m^3 conforme a mesma norma. Assim temos:

$$\text{Contra Piso} = 0,04 \text{ m} \cdot 21 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Contra Piso} = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Piso} = 0,0085 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Piso} = 0,153 \text{ kN/m}^2$$

$$Peso_{laje} = 0,153 \text{ kN/m}^2 + 0,84 \text{ kN/m}^2$$

$$Peso_{laje} = 0,993 \text{ kN/m}^2 \approx 1 \text{ kN/m}^2$$

O peso de $2,5 \text{ kN/m}^2$ referente à laje de concreto não está adicionada a este cálculo, pois já está inserida na estrutura modelada no programa SAP2000 v.12. Não foram utilizadas as cargas referentes às paredes, pois neste trabalho estão sendo analisados apenas os esforços atuantes nas lajes e as flechas das lajes. Quando utilizou as cargas de parede no programa, verificou-se que as vigas deformaram-se com toda a estrutura, e para avaliação das flechas seria necessário realizar uma média entre a deformação da laje e da viga.

Como carga variável, considerou-se o valor de $1,5 \text{ kN/m}^2$ referente à ocupação da edificação, que será destinada ao uso residencial.

4.6.1 Área de Influência para a Edificação Concluída

As áreas de influência das lajes para a edificação concluída é semelhante àquela utilizada para encontrar a área de influência das escoras, o que os difere são os valores encontrados, pois na edificação concluída não tem área de influência de vigas. Para este caso, a carga concentrada é aplicada perpendicularmente em cada nó da malha do modelo de grelha. Optou-se por esta escolha pela equivalência de método adotado para as cargas aplicadas nas escoras.

Assim como para as escoras, foram encontradas oito áreas de influência sobre as lajes para a edificação concluída, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Áreas de influência da laje para os nós da malha

TIPOS DE NÓS DA MALHA NO MODELO DA GRELHA	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA LAJE (m ²)
1	0,011
2	0,022
3	0,053
4	0,084
5	0,042
6	0,064
7	0,044
8	0,16

Fonte: Elaboração própria

4.6.2 Carregamento de Vigas e Lajes na Edificação Concluída

O carregamento permanente e acidental na edificação concluída é determinado pela combinação de cargas que atuam nas vigas e lajes referentes às suas respectivas áreas de influência, obtido pela equação:

$$P_t = \gamma_g \cdot P_g + \gamma_q \cdot P_q \quad (19)$$

Sendo a carga permanente concentrada a ser aplicada perpendicularmente em cada nó da malha no modelo da grelha (P_g) e a carga acidental (P_q) são determinadas pelas seguintes expressões:

$$P_g = \gamma_g \cdot (A_{i_l} \cdot G_l) \quad (20)$$

$$P_q = \gamma_q \cdot (A_{i_l} \cdot Q) \quad (21)$$

Onde:

P_g : Carga permanente aplicada nos nós da malha da grelha;

P_q : Carga acidental aplicada nos nós da malha da grelha;

A_{i_l} : Área de influência da laje (m²);

G_l : Peso da laje (1 kN/m);

Q : Carga acidental (1,5 kN/m²) segundo NBR 6120 (ABNT, 1980) para edificação com fins residenciais;

γ_q : Coeficiente de majoração para carga permanente desfavorável (1,4);

γ_g : Coeficientes de majoração para cargas variáveis em geral (1,4).

Para o caso da edificação concluída, haverá uma carga permanente e uma carga acidental aplicada em cada nó da malha do modelo da grelha para os pavimentos compreendidos entre o segundo e oitavo da edificação.

Dessa maneira, as cargas permanentes e acidentais consideradas do segundo ao oitavo pavimento da edificação são calculadas pelas equações (20) e (21) e mostradas através das Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Cargas permanentes atuantes para as lajes do 2º ao 8º pavimento

NÓS DA MALHA NO MODELO DA GRELHA	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA LAJE (m ²)	PESO DA LAJE (kN/m ²)	COEF. DE MAJORAÇÃO	CARGA TOTAL APLICADA EM CADA NÓ DA MALHA (kN)
1	0,011	1	1,4	0,015
2	0,022	1	1,4	0,031
3	0,053	1	1,4	0,074
4	0,084	1	1,4	0,118
5	0,042	1	1,4	0,059
6	0,064	1	1,4	0,090
7	0,044	1	1,4	0,062
8	0,16	1	1,4	0,224

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 - Cargas acidentais atuantes para as lajes do 2º ao 8º pavimento

NÓS DA MALHA NO MODELO DA GRELHA	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA LAJE (m ²)	CARGA ACIDENTAL (kN/m ²)	COEF. DE MAJORAÇÃO	CARGA TOTAL APLICADA EM CADA NÓ DA MALHA (kN)
1	0,011	1,5	1,4	0,023
2	0,022	1,5	1,4	0,046
3	0,053	1,5	1,4	0,111
4	0,084	1,5	1,4	0,176
5	0,042	1,5	1,4	0,088
6	0,064	1,5	1,4	0,134
7	0,044	1,5	1,4	0,092
8	0,16	1,5	1,4	0,336

Fonte: Elaboração própria

Para a laje de cobertura, estima-se a carga permanente correspondente a $0,70 \text{ kN/m}^2$ e a carga acidental $0,5 \text{ kN/m}^2$. O carregamento aplicado nos nós da malha da grelha para a laje de cobertura da edificação concluída encontram-se nas Tabelas 9 e 10, sendo calculados através das Equações 20 e 21.

Tabela 9 - Cargas permanentes atuantes na laje de cobertura

NÓS DA MALHA NO MODELO DA GRELHA	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA LAJE (m^2)	CARGA PERMANENTE (kN/m^2)	COEF. DE MAJORAÇÃO	CARGA TOTAL APLICADA EM CADA NÓ DA MALHA (kN)
1	0,011	0,70	1,4	0,011
2	0,022	0,70	1,4	0,021
3	0,053	0,70	1,4	0,051
4	0,084	0,70	1,4	0,081
5	0,042	0,70	1,4	0,040
6	0,064	0,70	1,4	0,061
7	0,044	0,70	1,4	0,042
8	0,16	0,70	1,4	0,154

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 - Cargas acidentais atuantes na laje de cobertura

NÓS DA MALHA NO MODELO DA GRELHA	ÁREA DE INFLUÊNCIA DA LAJE (m^2)	CARGA ACIDENTAL (kN/m^2)	COEF. DE MAJORAÇÃO	CARGA TOTAL APLICADA EM CADA NÓ DA MALHA (kN)
1	0,011	0,5	1,4	0,008
2	0,022	0,5	1,4	0,015
3	0,053	0,5	1,4	0,036
4	0,084	0,5	1,4	0,058
5	0,042	0,5	1,4	0,029
6	0,064	0,5	1,4	0,044
7	0,044	0,5	1,4	0,030
8	0,16	0,5	1,4	0,110

Fonte: Elaboração própria

5 ESTUDO DOS CASOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as análises propostas para os três casos de escoramento aplicados no método de elementos finitos da edificação em concreto armado, e o caso da edificação já concluída.

Para os três primeiros casos, são determinados os valores do módulo de elasticidade ($E_{ci(t)}$) e a resistência característica do concreto (f_{c_j}) nas idades correspondentes a 7, 14 e 21 dias. Para a idade referente aos 28 dias, os valores estabelecidos para a resistência à compressão (f_{ck}) foram de $25 MP_a$ e o módulo de elasticidade inicial (E_{ci}) de $28000 MP_a$, conforme a Equação 2, o módulo depende do parâmetro do agregado (α_e) e para este caso utilizou-se granito, onde, α_e igual a 1,0.

A evolução da resistência à compressão com idade indicada pode ser obtida através de ensaios em laboratório, na ausência do resultado desses ensaios a NBR 6118 (ABNT, 2014, pg. 70) propõe que essa verificação seja feita com idade inferior a 28 dias através da seguinte expressão:

$$f_{c_j} = \beta_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (22)$$

sendo β_1 dado por:

$$\beta_1 = \exp \left\{ s - \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (23)$$

onde

$s = 0,38$ para concreto de cimento CP III e IV;

$s = 0,25$ para concreto de cimento CP I e II;

$s = 0,20$ para concreto de cimento CP V-ARI;

t é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

Para este trabalho adotou-se concreto com cimento portland CP IV, pois é o cimento mais empregado em construções de estruturas de concreto armado, com isso o valor para a incógnita s é de 0,38. A norma também estabelece, que para o

concreto com idade igual ou superior a 28 dias o β_1 a ser utilizado para cálculos seja de 1.

Desta maneira, através das Equações 22, 23 e 6 foi elaborada a Tabela 11 onde são apresentados os valores encontrados para as resistências do concreto e os módulos de elasticidade inicial para as diferentes idades propostas neste trabalho.

Tabela 11 - Módulo de elasticidade e resistência à compressão do concreto para diferentes idades

Idade (dias)	β	f_{c_j} (MPa)	$E_{ct(t)}$ (MPa)
7	0,68448	12,22	19578,26
14	0,85468	15,26	21877,42
21	0,94291	16,84	22978,87
28	1	25	28000

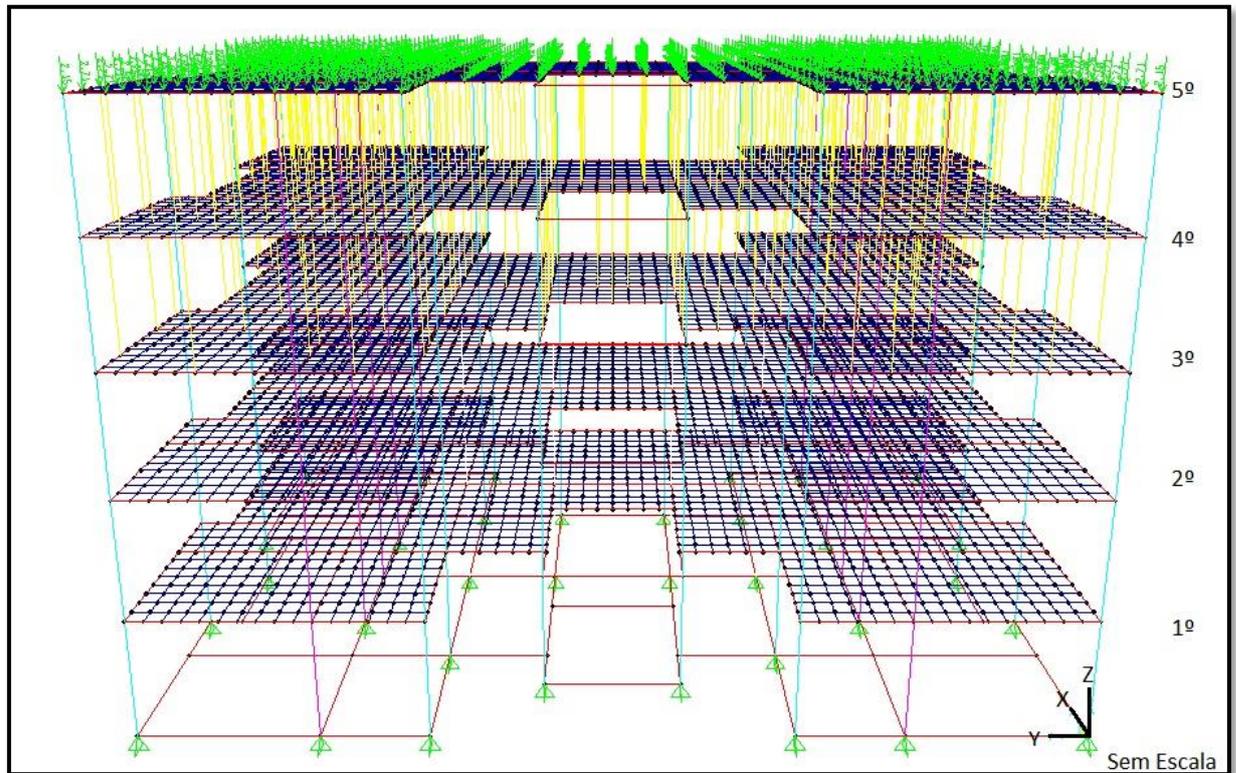
Fonte: Elaboração própria

5.1 Análise dos Esforços e Flechas para os Casos Descritos

5.1.1 Análise do Caso I

Para análise do caso I, a laje recém concretada está 100% escorada sob uma laje de concreto com idade de 7 dias, logo abaixo a laje está com 50% do total de escoras na laje com idade referente à 14 dias e esta, por último, dispõe de 25% de escoras na laje de idade do concreto relacionada a 21 dias. No modelo do programa SAP2000 v.12, através da Figura 13, pode-se observar que os carregamentos foram lançados nos pontaletes para a laje 100% escorada e realizado o escoramento das lajes nos dois pavimentos seguintes.

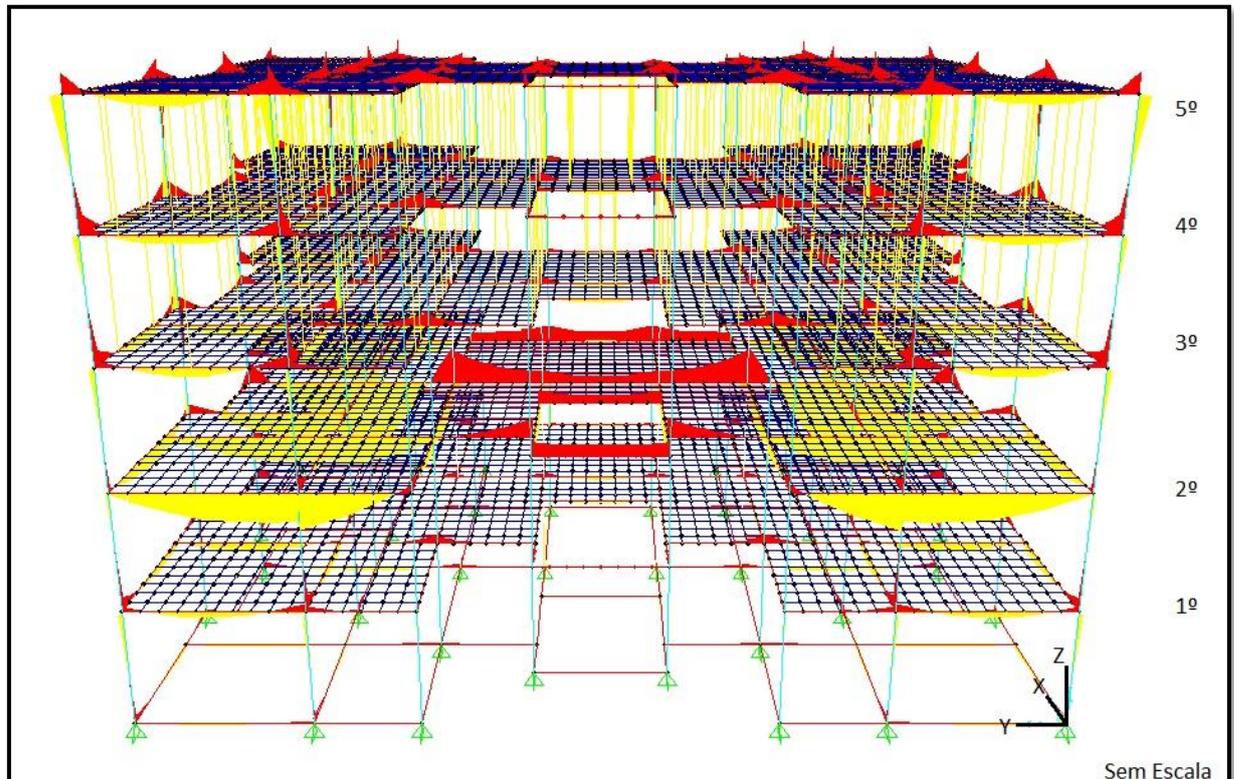
Figura 13 - Cargas e escoramentos (caso I)



Fonte: Elaboração própria

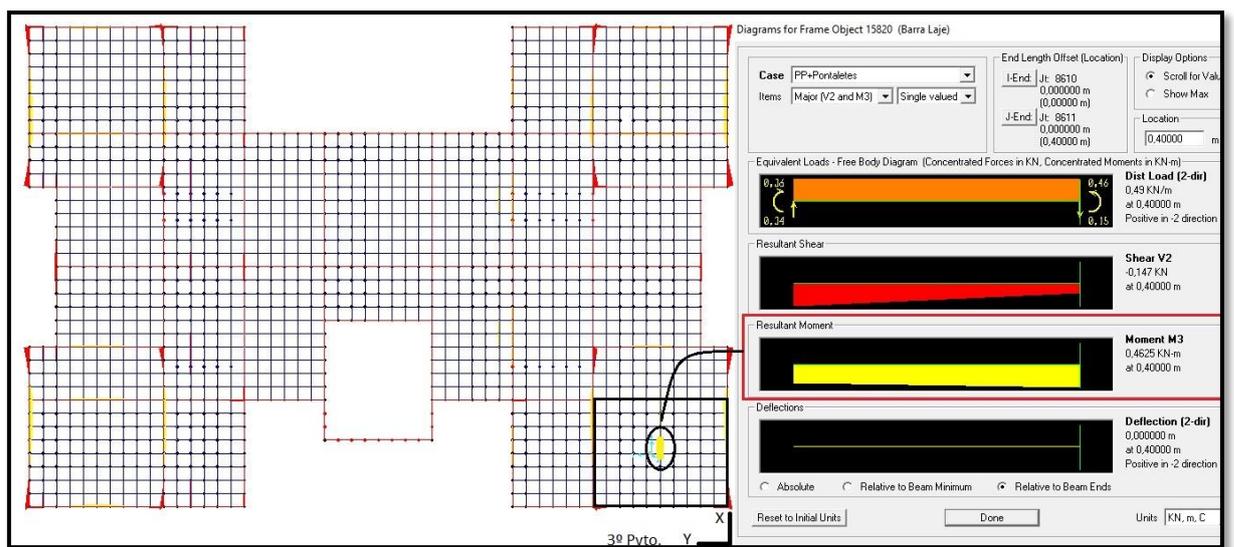
Depois de realizado o lançamento das cargas nas escoras e executado o escoramento das vigas e lajes, foram verificados quais os valores máximos para os momentos fletores solicitantes atuantes (Figura 14 e 15) e a verificação da deformação (Figura 16 e 17) nos pontos centrais das lajes do pavimento na qual o concreto apresenta idade de 21 dias. Os esforços e as deformações foram analisados nos pontos médios dos nós das barras centrais da malha da grelha dispostas em duas direções (x e y), pois foi verificado que nestas barras encontram-se os maiores esforços e deslocamentos.

Figura 14 – Momentos fletores nas vigas e lajes (caso I)



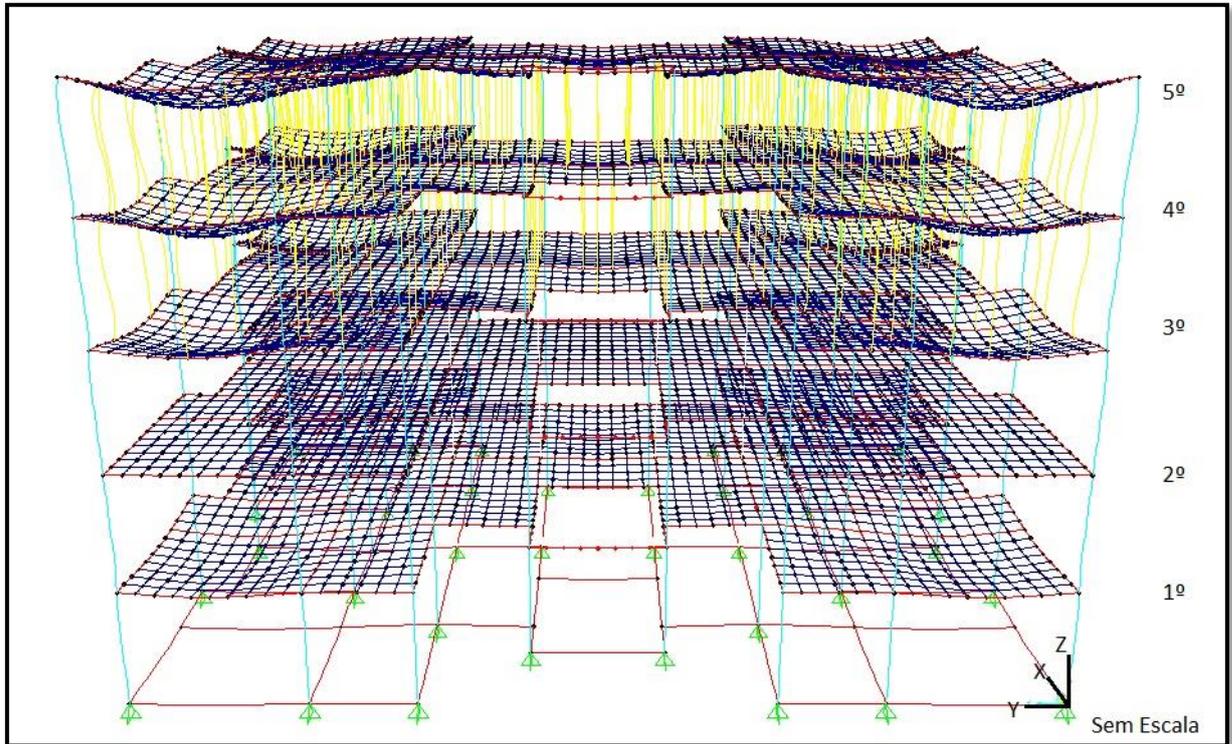
Fonte: Elaboração própria

Figura 15 - Vista superior da laje do 3º pavimento (caso I)



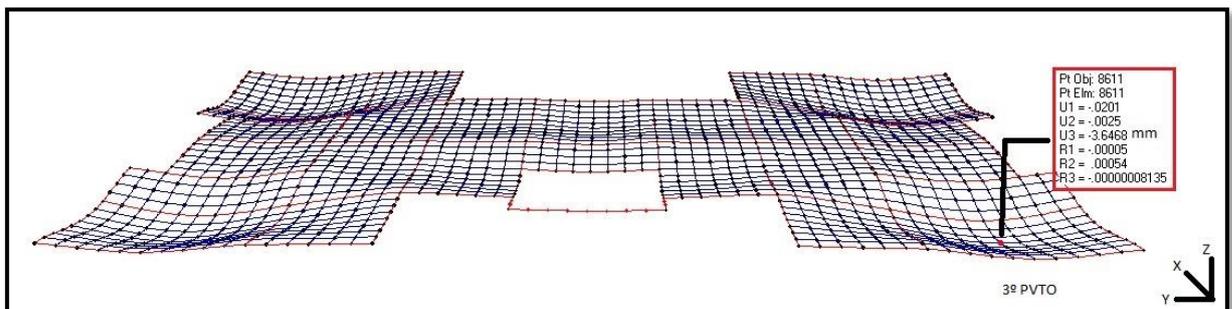
Fonte: Elaboração própria

Figura 16 – Deformada (caso I)



Fonte: Elaboração própria

Figura 17 - Perspectiva da laje (caso I)

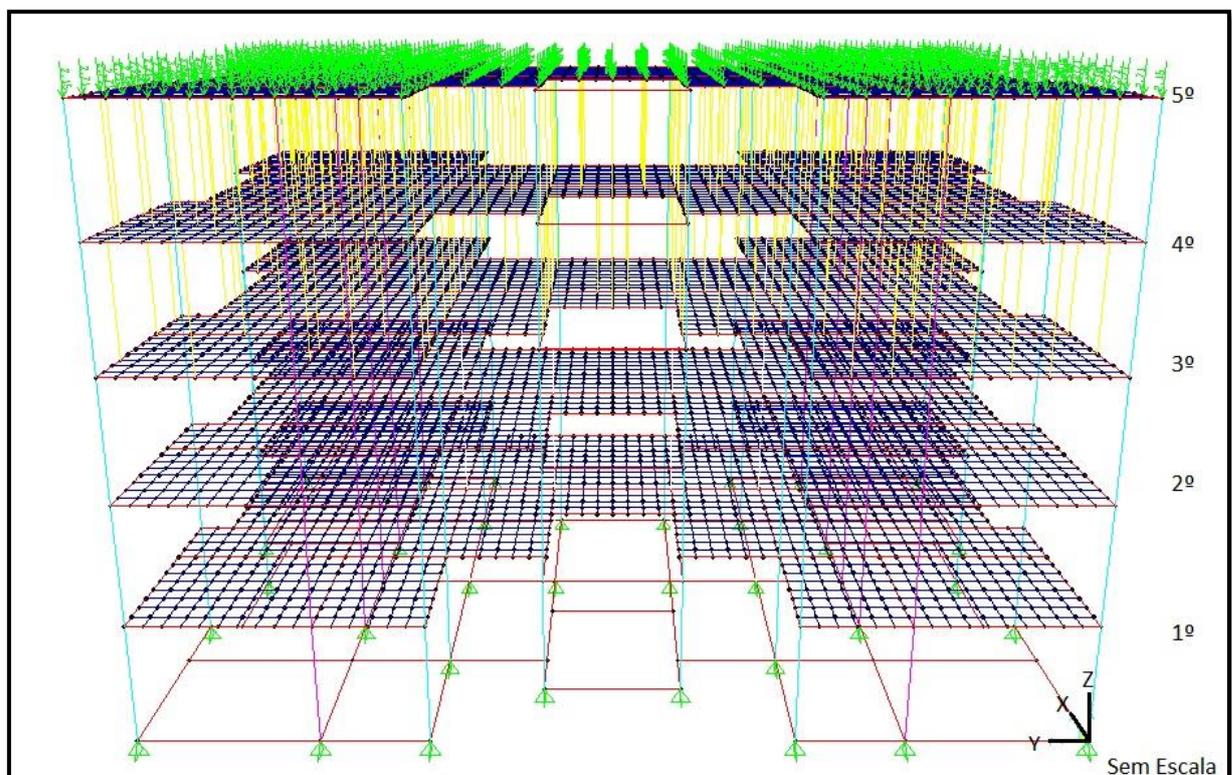


Fonte: Elaboração própria

5.1.2 Análise do Caso II

Na análise do caso II, a laje recém concretada está 100% escorada sob uma laje de concreto com idade referente aos 14 dias e a seguir esta, laje está com 50% do nível de escoras na laje com idade correspondente a 21 dias. Através do modelo da Figura 18, verifica-se o carregamento aplicado na laje 100% do escoramento e a laje subsequente escorada.

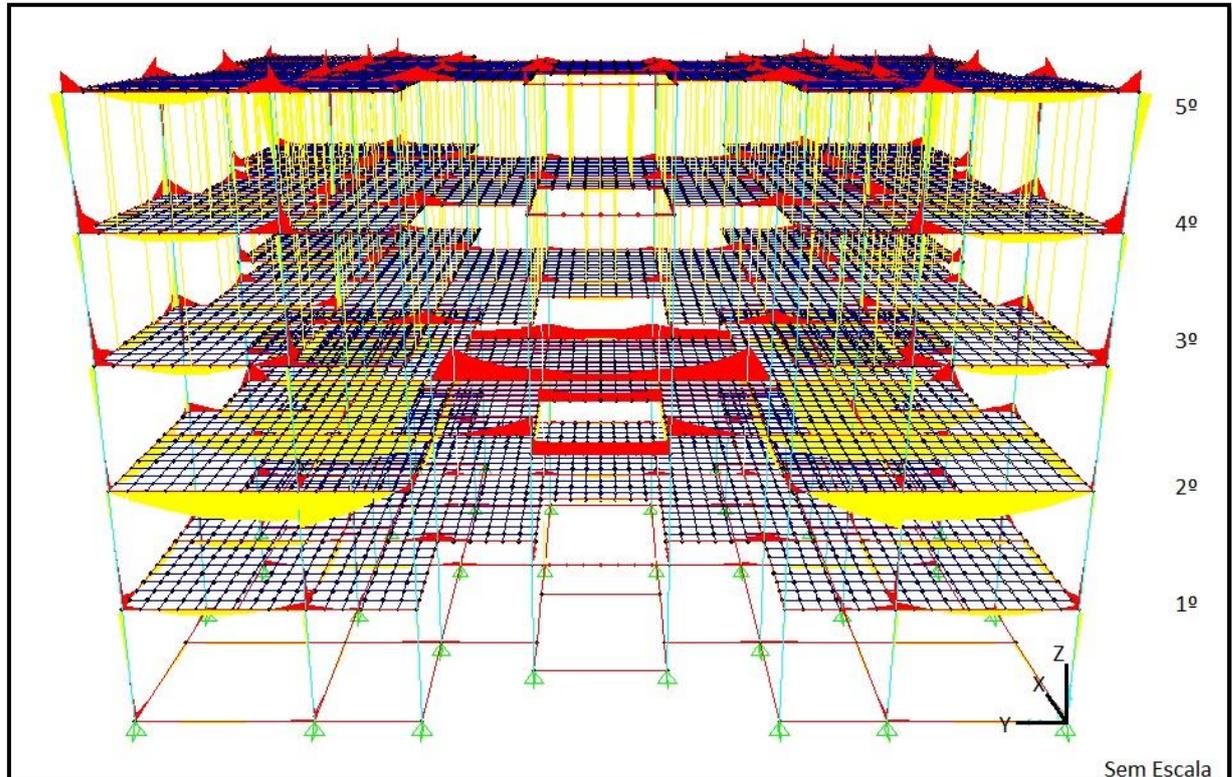
Figura 18 - Cargas e escoramentos (caso II)



Fonte: Elaboração própria

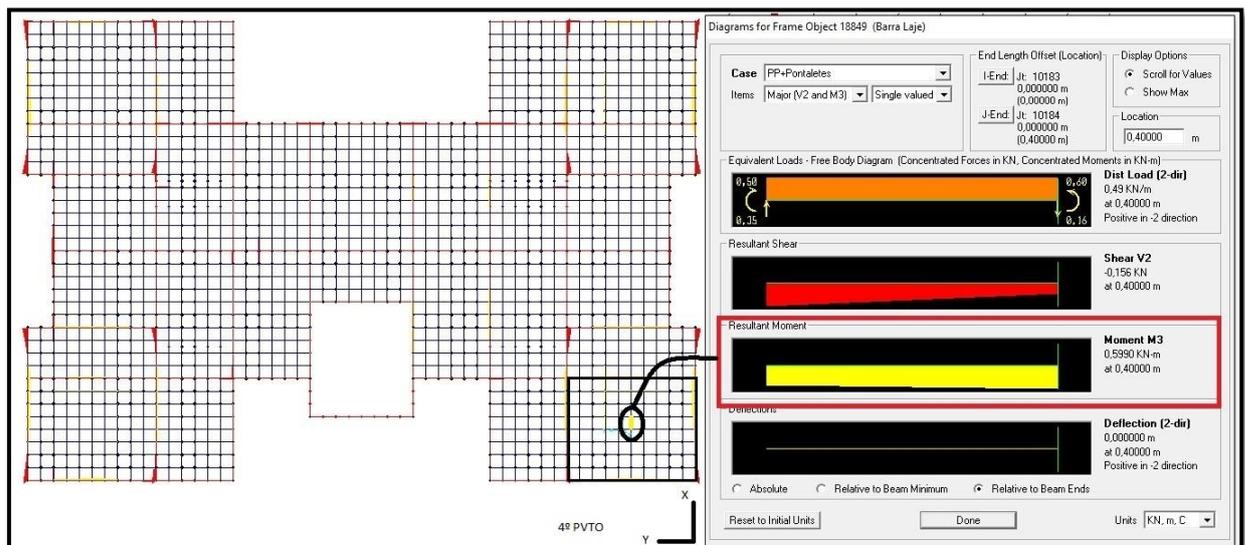
Assim como no caso I, após o lançamento das cargas nas escoras e efetuado o escoramento de vigas e lajes, na Figura 19 verificou-se os momentos fletores atuantes em todos os pavimentos da edificação e na Figura 20 a vista superior da laje de concreto com idade de 21 dias onde serão analisados os esforços atuantes.

Figura 19 - Momentos fletores nas vigas e lajes (caso II)



Fonte: Elaboração própria

Figura 20 - Vista superior da laje do 4º pavimento (caso II)

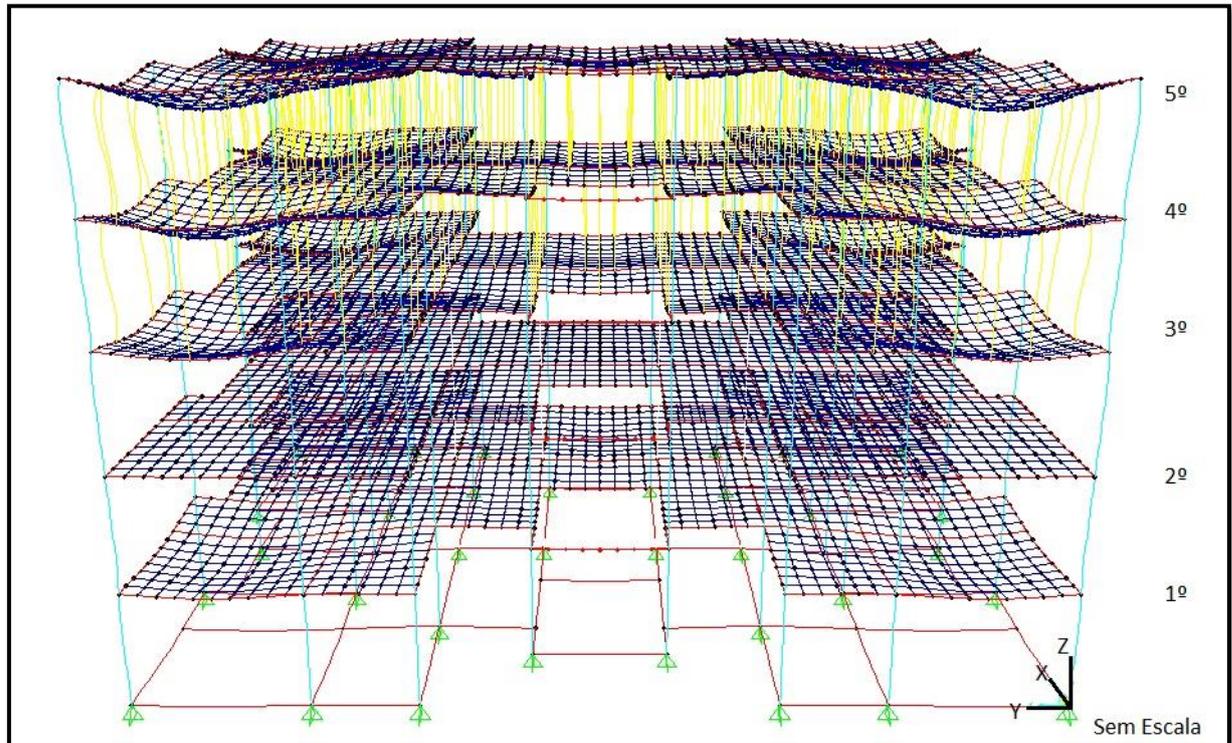


Fonte: Elaboração própria

Na Figura 21 é mostrada a deformação causada nos pavimentos da estrutura devido ao carregamento aplicado nas escoras, e na Figura 22 a laje deformada de

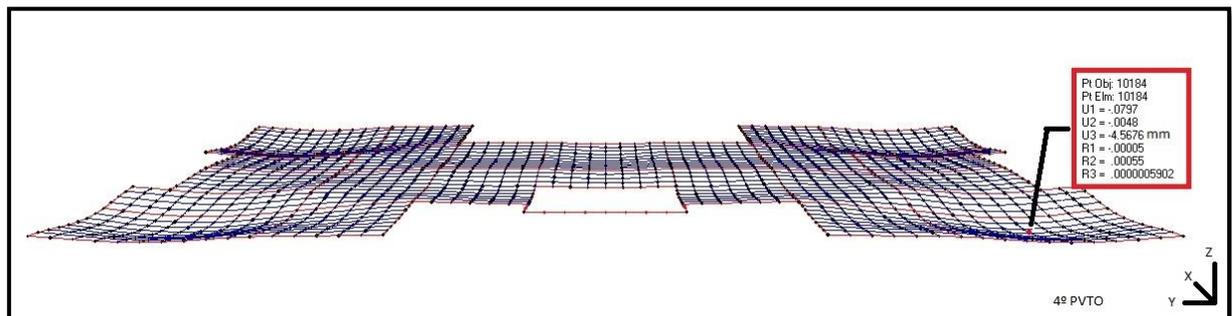
concreto com idade referente aos 21 dias, onde serão analisadas as flechas máximas nos nós centrais das barras na malha da grelha.

Figura 21 - Deformada (caso II)



Fonte: Elaboração própria

Figura 22 – Perspectiva da laje (caso II)

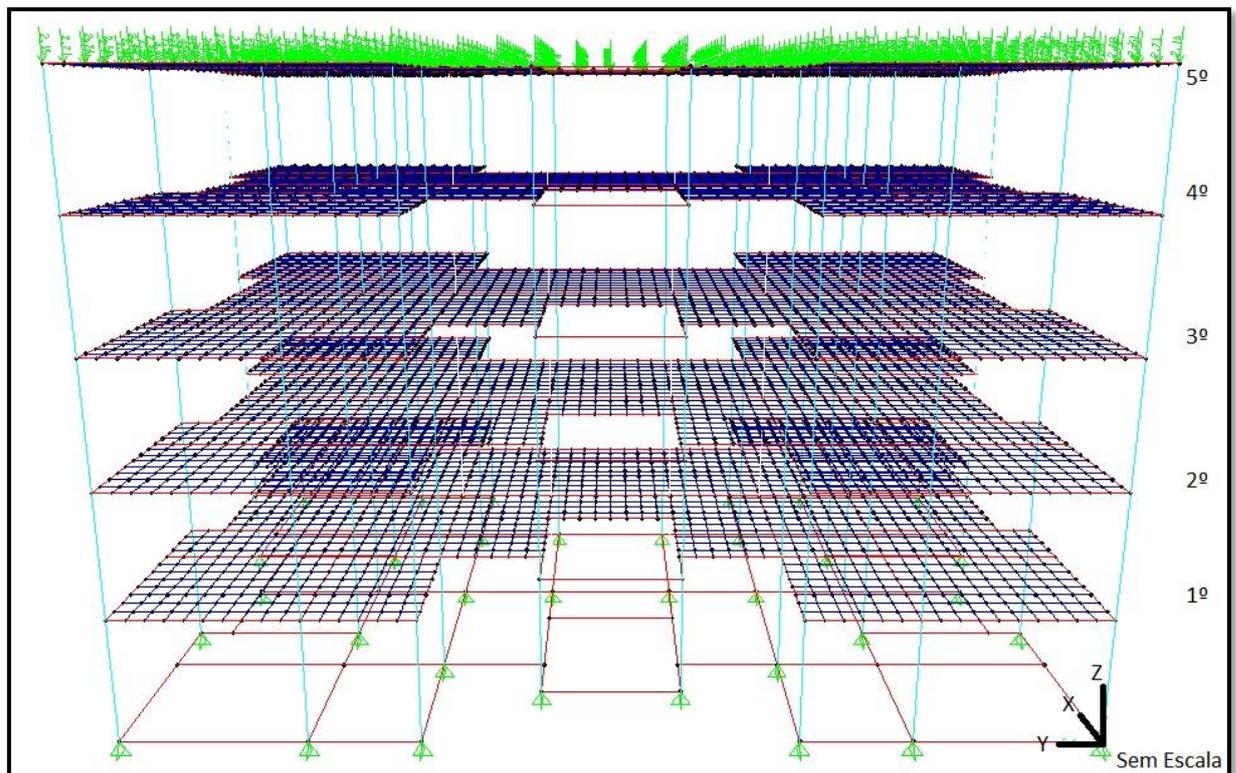


Fonte: Elaboração própria

5.1.3 Análise do Caso III

Na análise do caso III, a laje recém concretada está 100% escorada sob uma laje de concreto com idade referente aos 21 dias e as lajes posteriores não apresentam escoras, pois o concreto já atingiu a idade de 28 dias como mostra a Figura 23.

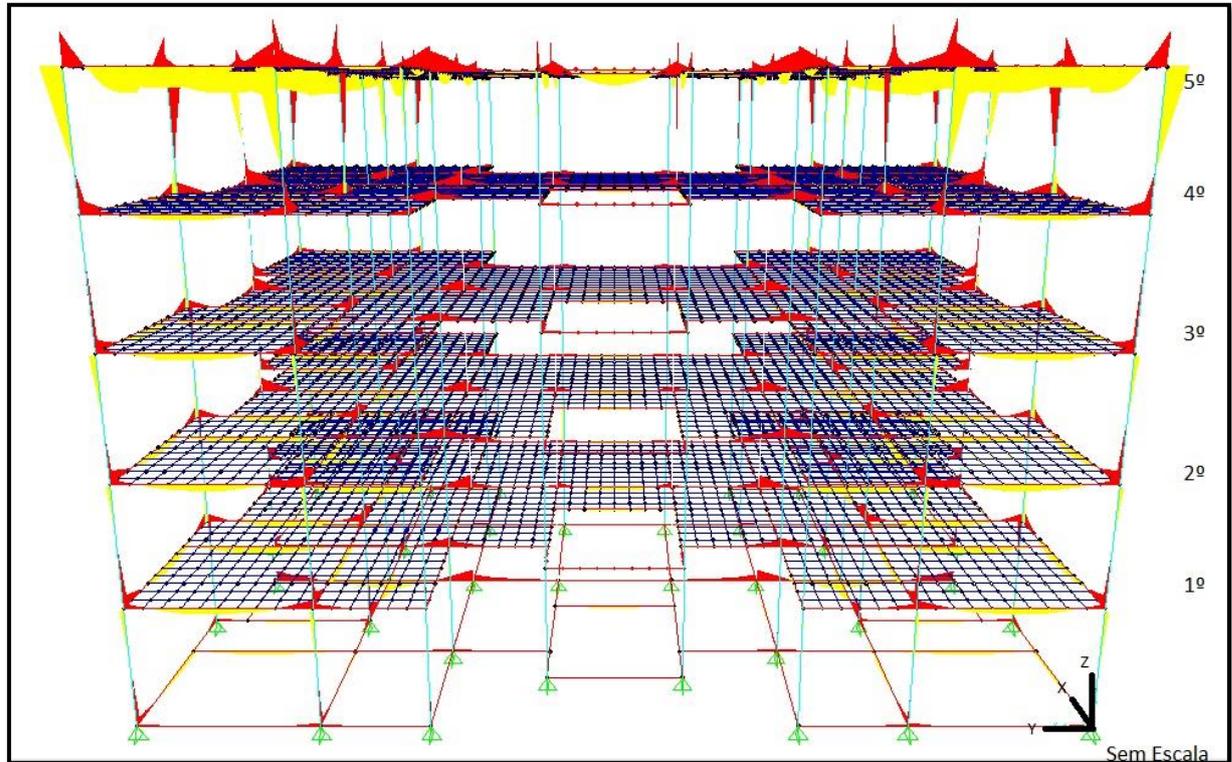
Figura 23 - Cargas (caso III)



Fonte: Elaboração própria

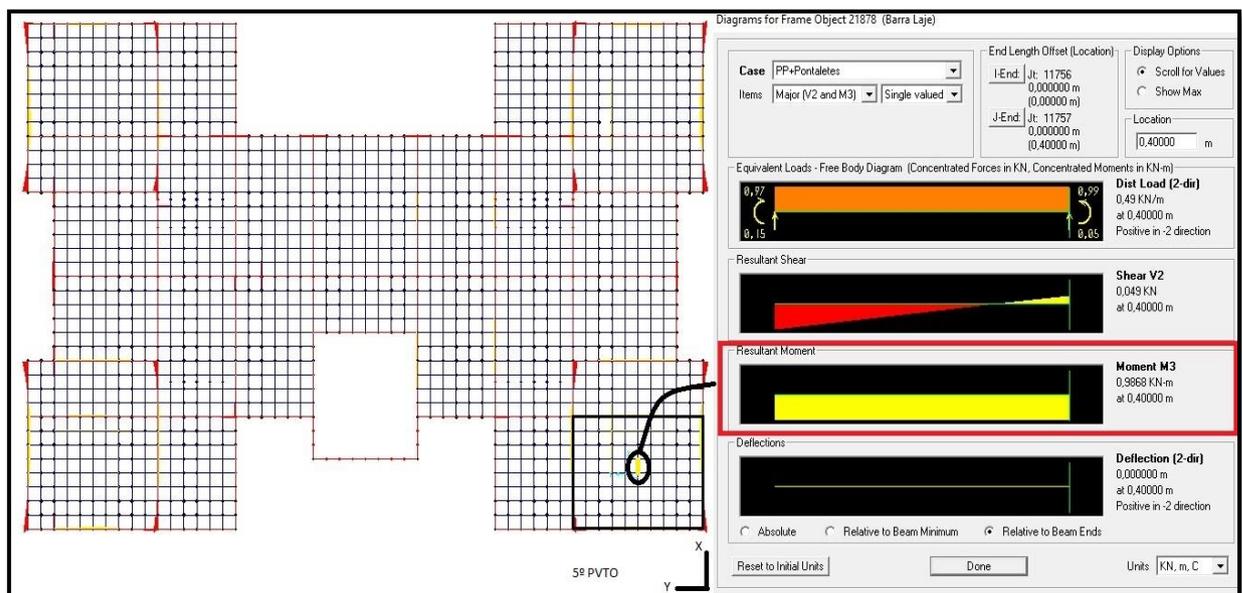
Após o lançamento das cargas sobre as escoras que se encontram apoiadas na laje de concreto, na Figura 24 encontram-se os momentos fletores atuantes na estrutura e a Figura 25 exhibe a vista superior da laje de concreto com idade referente aos 21 dias onde serão analisados os esforços atuantes.

Figura 24 - Momentos fletores nas vigas e lajes (caso III)



Fonte: Elaboração própria

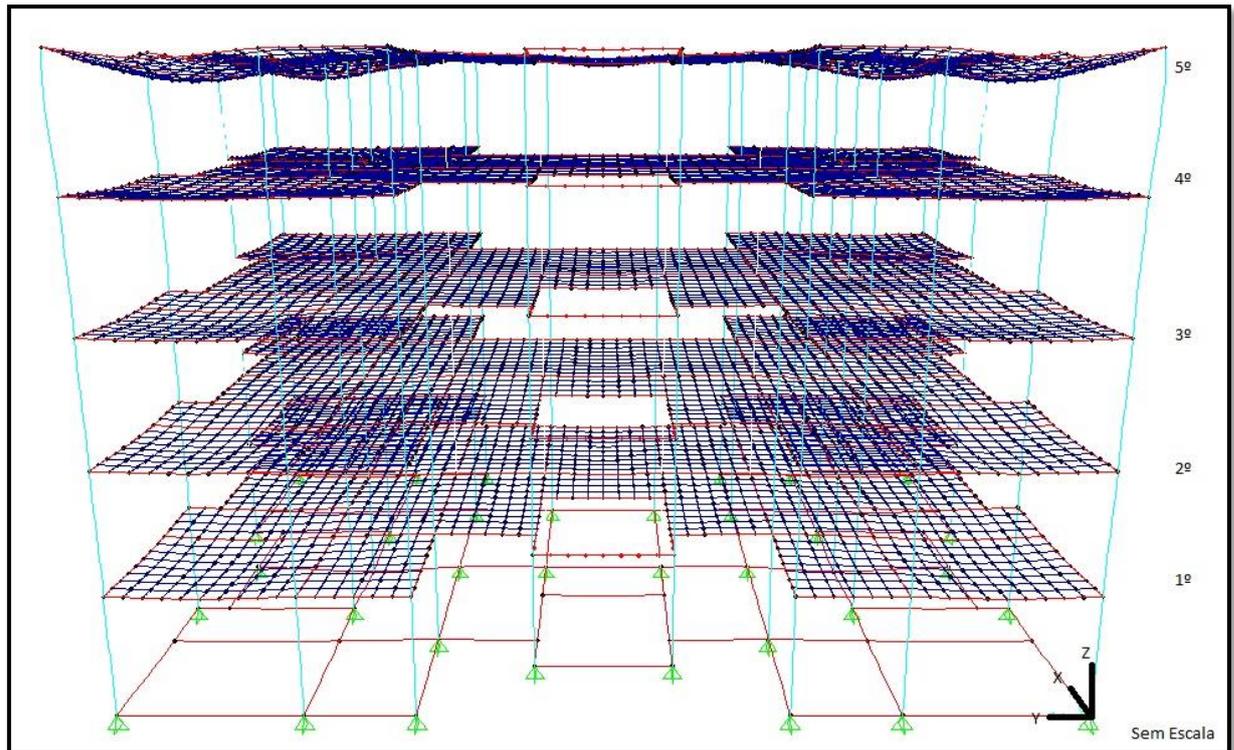
Figura 25 - Vista superior da laje do 5º pavimento (caso III)



Fonte: Elaboração própria

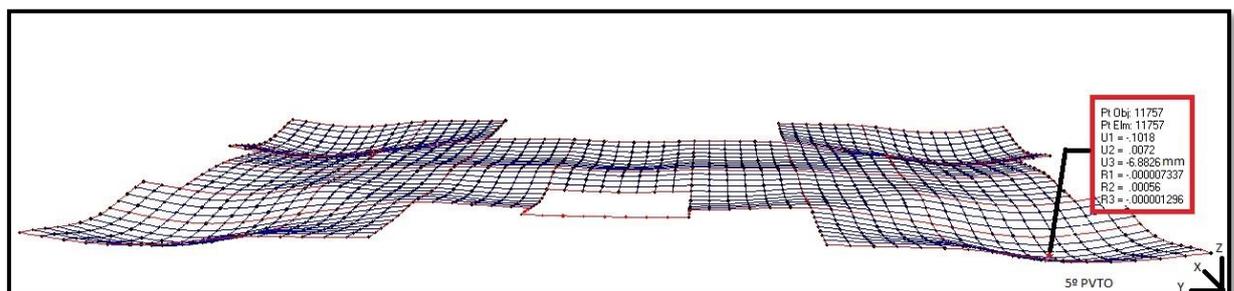
Na Figura 26 é mostrada a deformação causada nos pavimentos da estrutura devido ao carregamento aplicado nas escoras, e na Figura 27 é mostrada a laje deformada de concreto com idade referente aos 21 dias, onde serão analisadas as flechas máximas nos nós centrais das barras na malha da grelha.

Figura 26 – Deformada (caso III)



Fonte: Elaboração própria

Figura 27 – Perspectiva da laje (caso III)

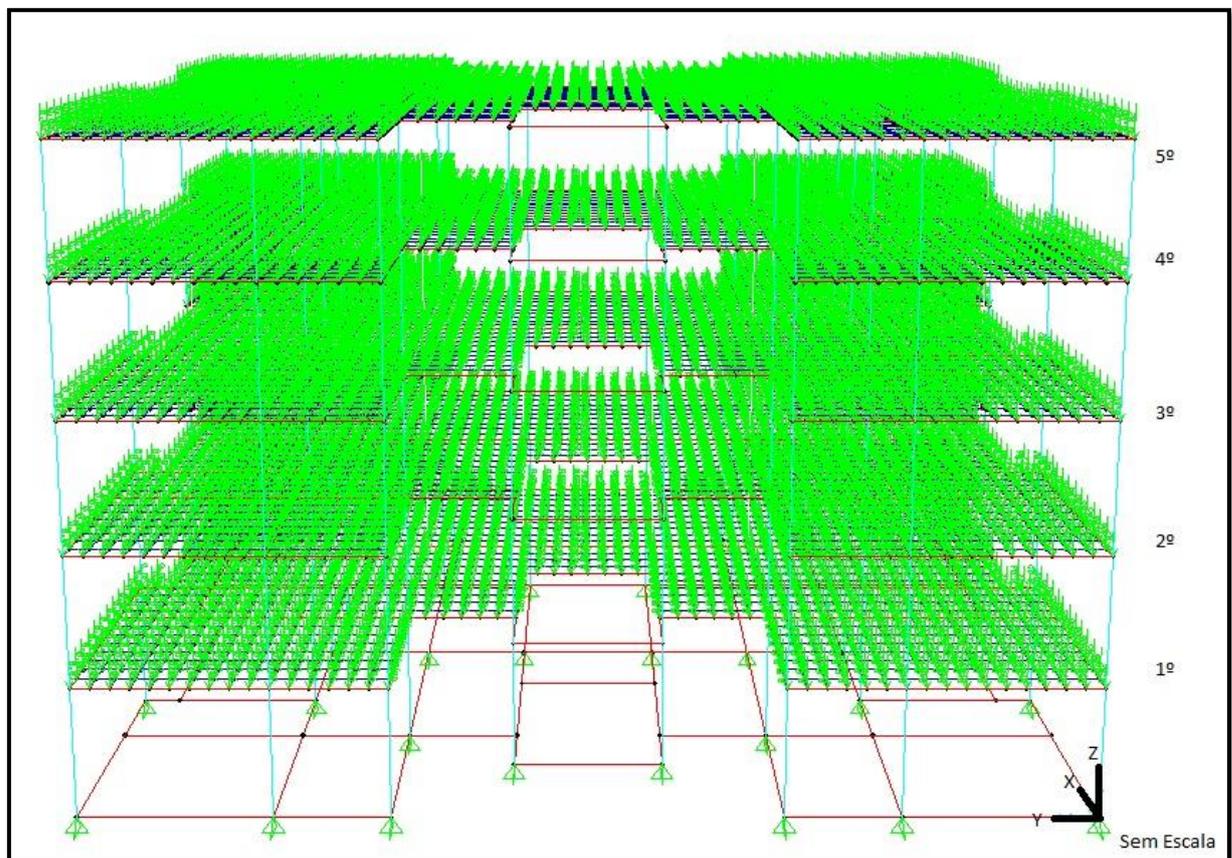


Fonte: Elaboração própria

5.1.4 Análise do Caso IV

No caso IV, consideramos a edificação concluída e na estrutura atuam somente as ações permanentes e variáveis com idade do concreto relativo aos 28 dias, ou seja, o concreto já atingiu a resistência característica ($f_{ck} = 25 MP_a$) e o módulo de elasticidade ($E_{ci} = 28000MP_a$) conforme apresentado no item 5 deste trabalho. Assim, a Figura 28 ilustra a atuação das cargas permanentes e variáveis.

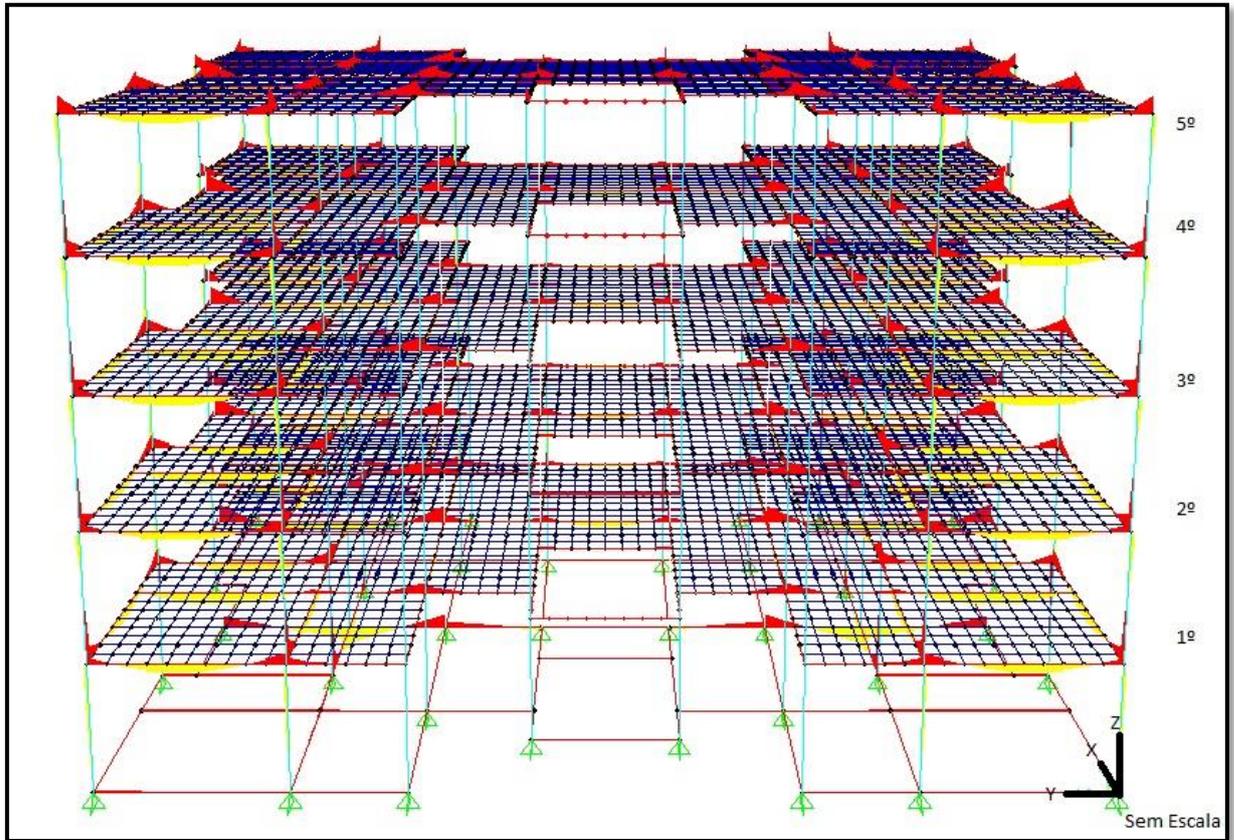
Figura 28 - Cargas referentes às ações permanentes e variáveis (caso IV)



Fonte: Elaboração própria

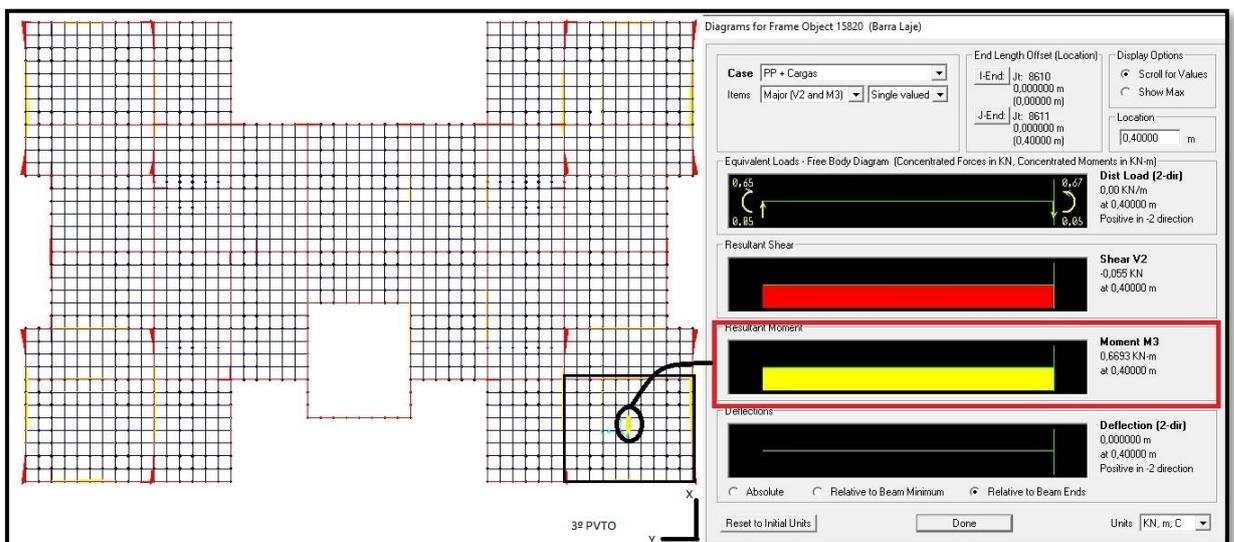
Posterior ao lançamento das cargas verificou-se os momentos fletores atuantes na estrutura (Figura 29) e a vista superior de um pavimento (Figura 30). Nesse caso toda a estrutura apresenta concreto com idade referente aos 28 dias.

Figura 29 - Momentos fletores nas vigas e lajes (caso IV)



Fonte: Elaboração própria

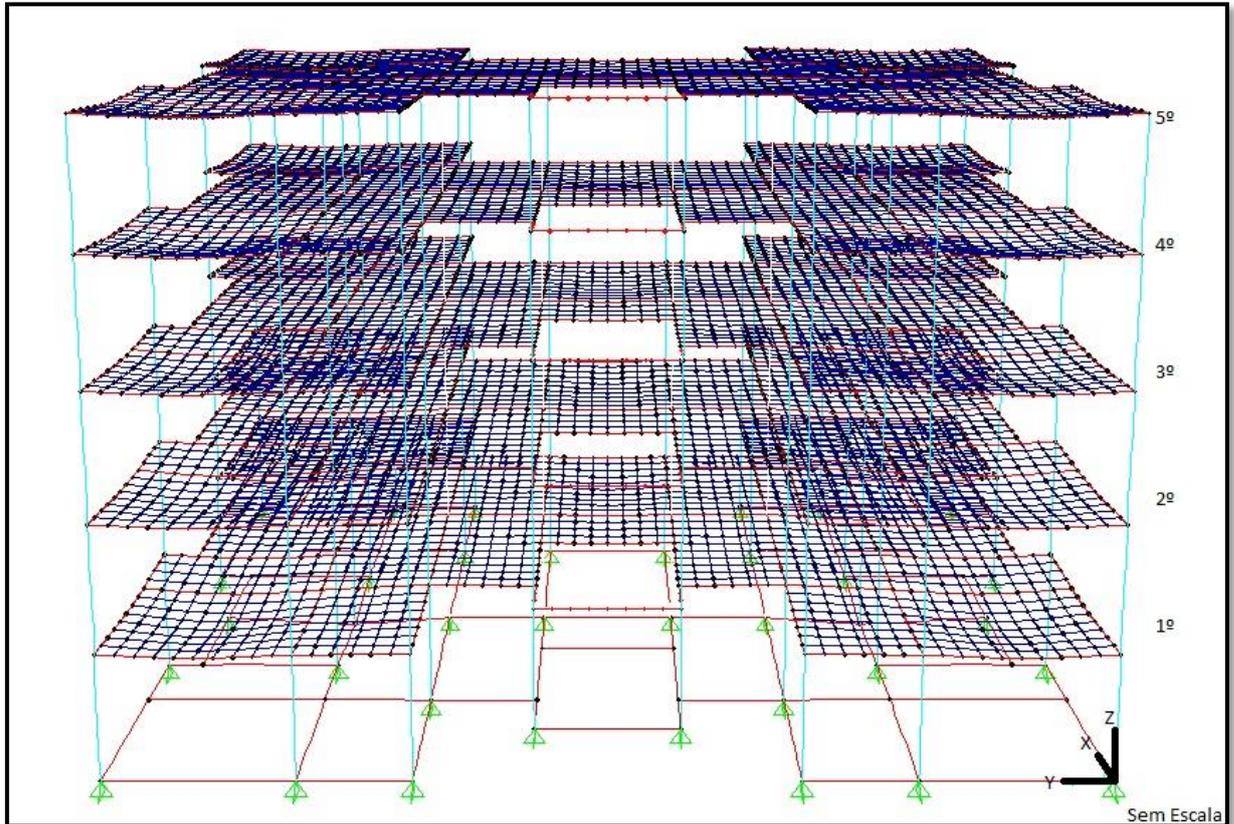
Figura 30 - Vista superior da laje do 3º pavimento (caso IV)



Fonte: Elaboração própria

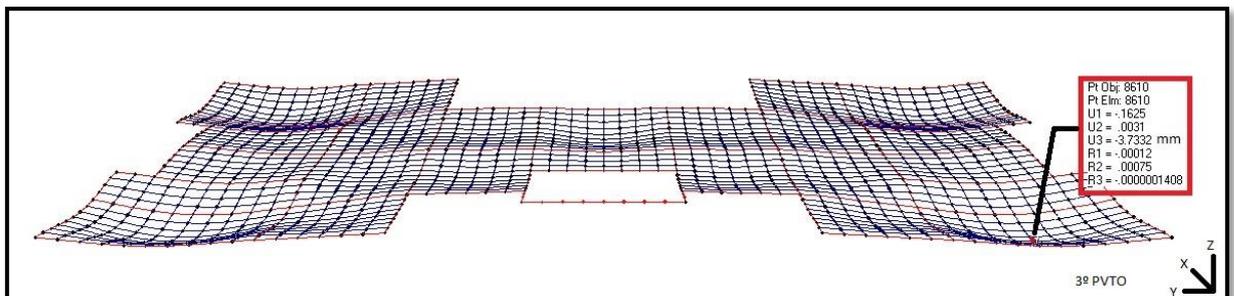
Na Figura 31 mostrada as deformações devido às cargas permanentes e acidentais aplicadas nos nós da grelha, e a Figura 32 exibe a laje deformada de concreto com idade referente aos 28 dias, onde serão analisadas as flechas máximas.

Figura 31 – Deformada (caso IV)



Fonte: Elaboração própria

Figura 32 – Perspectiva da laje (caso IV)



Fonte: Elaboração própria

5.2 Análise dos Resultados

Após expor os três diferentes casos de escoramentos e o caso que leva em consideração a edificação concluída, elaborou-se a Tabela 12 com as flechas máximas causadas pelo carregamento nas lajes com idade de concreto referentes aos 21 dias, com exceção do caso IV sendo esta analisada com idade de concreto aos 28 dias.

Tabela 12 - Flechas máximas nas lajes

Nº da Laje	CASO I	CASO II	CASO III	CASO IV	CASO I / CASO IV	CASO II / CASO IV	CASO III / CASO IV
	Flecha (mm)						
Laje 1	-3,65	-4,57	-6,88	-3,73	0,97	1,22	1,84
Laje 2	-2,99	-3,60	-5,25	-3,08	0,96	1,16	1,70
Laje 3	-1,34	-1,89	-2,71	-2,18	0,61	0,86	1,24
Laje 7	-1,51	-1,91	-2,65	-2,00	0,75	0,95	1,32
Laje 8	-1,13	-1,52	-1,85	-2,09	0,53	0,72	0,88
Laje 11	-1,70	-2,15	-2,88	-2,12	0,79	1,01	1,35
Laje 13	-1,71	-2,05	-3,62	-2,63	0,65	0,77	1,37
Laje 14	-1,86	-1,96	-2,66	-1,83	1,01	1,07	1,44

Fonte: Elaboração própria

Analisando a Tabela 12, percebe-se que os maiores deslocamentos foram encontrados no caso III, onde ocorrem flechas significativas nas lajes de concreto com pouca idade que futuramente podem vir a causar possíveis danos à estrutura, como por exemplo, trincas e fissuras.

Através da análise dos resultados do quociente entre o caso III e IV, nota-se que os deslocamentos para a maioria das lajes no caso III foram maiores que aquelas encontradas para o estado limite último da edificação concluída, sendo que

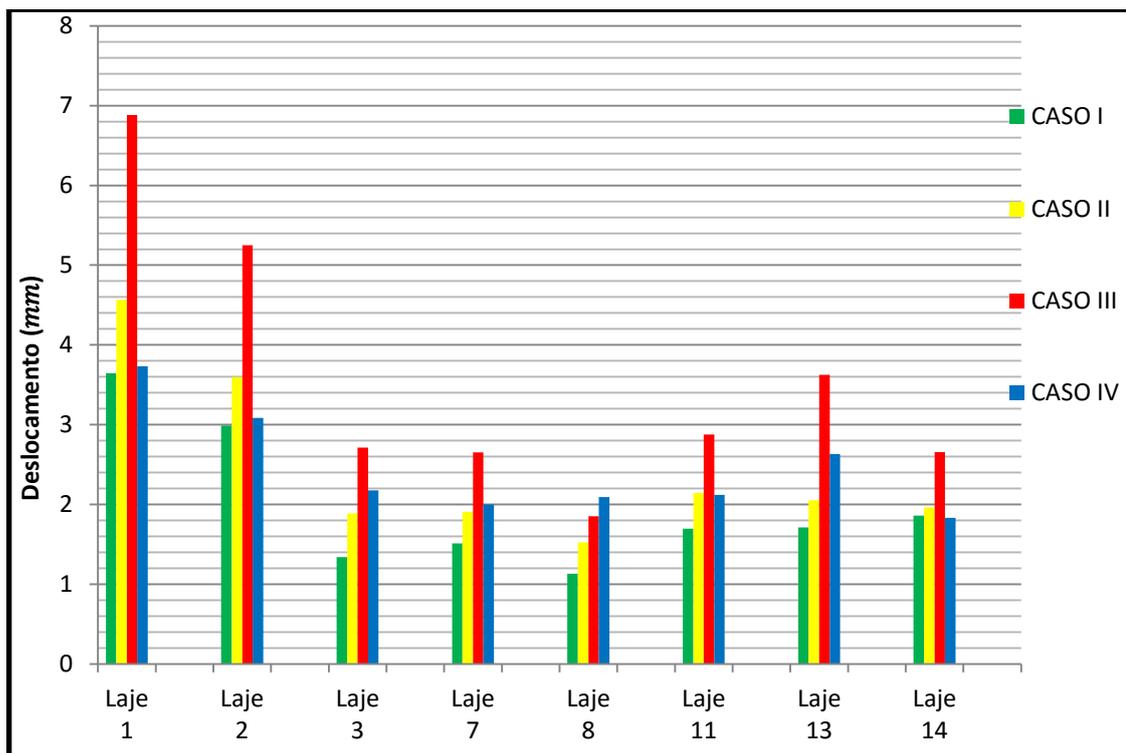
para a laje 1 o valor desse quociente chega a 1,84. A única exceção encontra-se na laje 8, que apresenta o valor do quociente menor que 1.

Para a relação entre o caso II e IV, metade das lajes analisadas ultrapassou o limite estabelecido pelo caso IV. As lajes que apresentaram diferença mais significativa foram as lajes 1 e 2 com quocientes de 1,22 e 1,16, respectivamente. As demais apresentam valores próximos a 1.

Mesmo que os deslocamentos não tenham sido obtidos através do estado limite de serviço, foram analisados para o estado limite último para fim obtenção de conclusões.

O Gráfico 1, mostra um comparativo entre as flechas máximas encontradas para os casos descritos.

Gráfico 1 - Comparação entre as flechas para os casos analisados



Fonte: Elaboração própria

Com relação aos momentos fletores que atuam nas lajes, foram analisados nas duas direções (x e y), na Tabela 13 são mostrados os valores encontrados para o momento fletor máximo com relação ao eixo x e na Tabela 14 são mostrados os valores encontrados para o momento fletor máximo em relação ao eixo y .

Tabela 13 - Momentos máximos nas lajes com relação ao eixo x

Nº da Laje	Direção momento fletor	CASO I	CASO II	CASO III	CASO IV			
		Momento Fletor Máximo (kN·m/m)				CASO I / CASO IV	CASO II / CASO IV	CASO III / CASO IV
Laje 1	M _x	1,1563	1,4975	2,4670	1,6733	0,69	0,89	1,47
Laje 2	M _x	0,0700	0,6555	0,6913	0,7135	0,09	0,91	0,96
Laje 3	M _x	0,1528	0,3098	0,6408	0,6628	0,23	0,46	0,96
Laje 7	M _x	0,5838	1,0753	1,2453	0,7633	0,76	1,40	1,63
Laje 8	M _x	0,1703	0,2203	0,3715	0,3360	0,50	0,65	1,10
Laje 11	M _x	0,6573	1,3158	1,3958	0,7873	0,83	1,67	1,779
Laje 13	M _x	0,717	0,6468	1,7763	1,1793	0,60	0,54	1,50
Laje 14	M _x	0,1505	0,1183	0,1883	0,3635	0,41	0,32	0,51

Fonte: Elaboração própria

Com relação aos momentos máximos encontrados na direção x , nota-se que os maiores valores encontrados são para as lajes do caso III. Através do quociente entre o caso III e IV, percebe-se que a maioria das lajes ultrapassam os valores obtidos para este último caso, e aquelas que não ultrapassam, as lajes 2 e 3 apresentam valores próximos a 1. A única exceção acontece com a laje 14, que o momento máximo é praticamente a metade daquele obtido pelo caso IV.

Tabela 14 - Momentos máximos nas lajes com relação ao eixo y

Nº da Laje	Direção Momen to Fletor	CASO I CASO II CASO III CASO IV				CASO I / CASO IV	CASO II / CASO IV	CASO III / CASO IV
		Momento Fletor Máximo (kN·m/m)						
Laje 1	My	1,046	1,5120	2,3368	1,4598	0,72	1,04	1,60
Laje 2	My	0,8287	0,9633	1,8120	0,8503	0,97	1,13	2,13
Laje 3	My	0,5555	0,9408	1,4408	0,8083	0,69	1,16	1,78
Laje 7	My	0,2077	0,7078	0,7178	0,6971	0,30	1,02	1,03
Laje 8	My	0,457	1,0080	1,2528	0,9963	0,46	1,01	1,26
Laje 11	My	0,3302	0,8160	0,9760	0,9243	0,36	0,88	1,06
Laje 13	My	0,6397	0,9645	1,8375	1,3318	0,48	0,72	1,38
Laje 14	My	0,4137	0,4648	0,9508	0,4303	0,96	1,08	2,21

Fonte: Elaboração própria

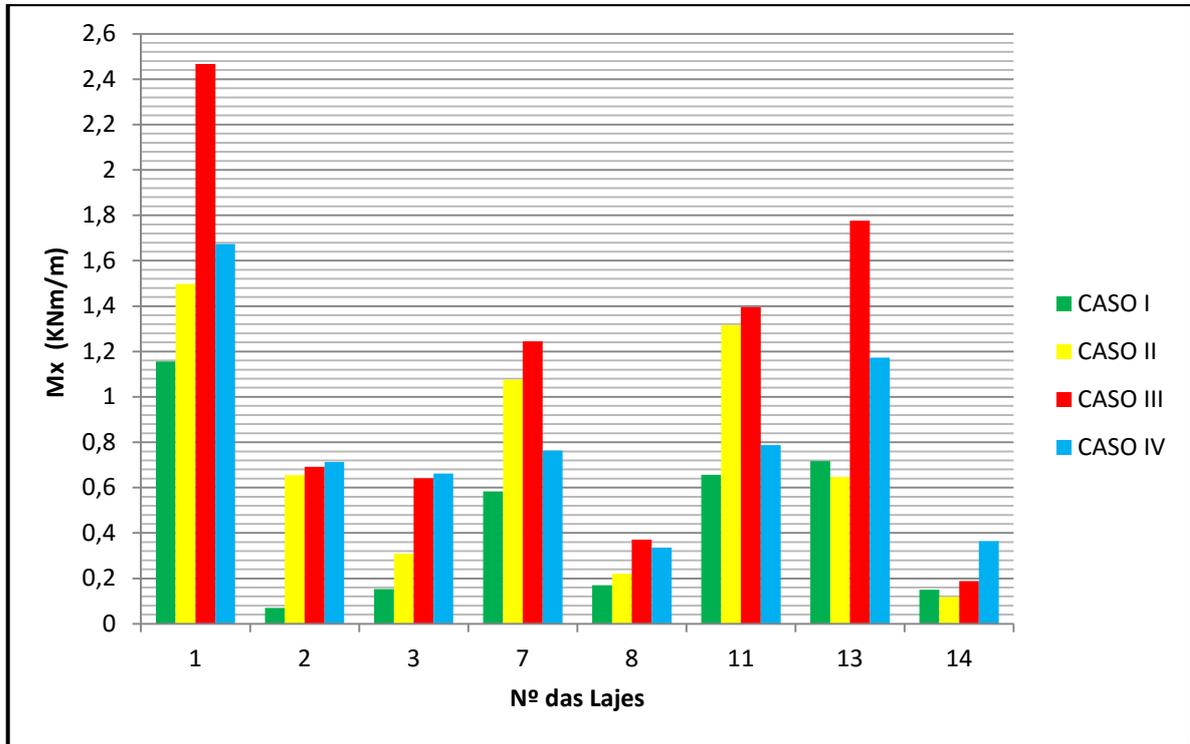
Com relação aos momentos máximos para o eixo y , percebe-se que como na direção x , os maiores momentos ocorrem nas lajes do caso III. Na relação entre os casos III e IV, constatou-se que os momentos das lajes 2 e 14 para o caso III são duas vezes que aqueles encontrados para o caso IV.

Algumas lajes do caso II apresentam certa semelhança com valores de quociente próximos a 1, as exceções são as lajes 3 e 16 que apresentam quociente de 1,16 e 0,72, respectivamente.

Da mesma maneira que para o eixo x , os momentos investigados no eixo y para as lajes do caso I não extrapolam os valores encontrados para o caso IV.

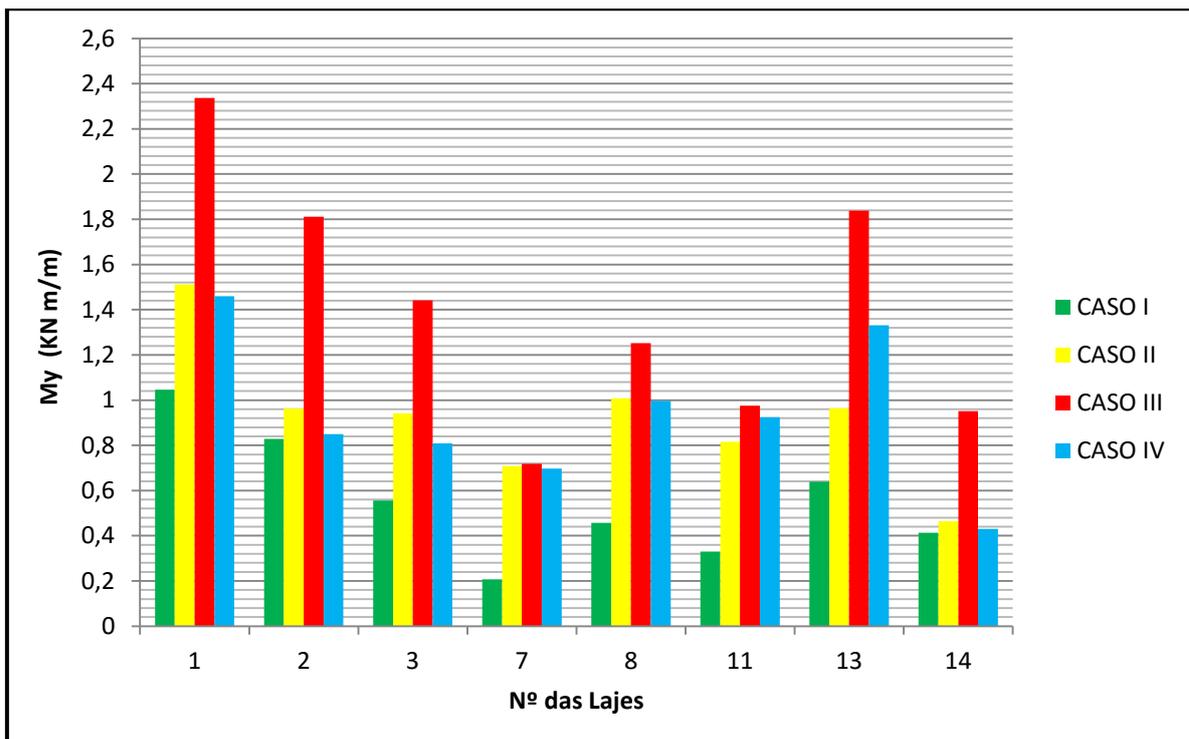
Após a análise dos momentos máximos, elaborou-se o Gráfico 2 para uma comparação entre os momentos máximos fletores encontrados na direção x , e o Gráfico 3 para a direção y .

Gráfico 2 - Comparação dos momentos fletores máximos na direção x para as lajes em estudo



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 3- Comparação dos momentos fletores máximos na direção y para as lajes em estudo



Fonte: Elaboração própria

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

A partir dos resultados encontrados nas análises teóricas, foi possível observar aspectos relevantes do comportamento das lajes maciças de uma estrutura em concreto armado a serem considerados no projeto de escoramento e no estrutural. Desta forma, com relação à análise da carga transmitida pelo escoramento às lajes maciças de um edifício em concreto armado apresentam-se algumas conclusões:

- a) A respeito da pior situação encontrada para as flechas e momentos máximos, caso III, verificou-se que estes ultrapassam significativamente os valores encontrados no caso IV que considera o estado limite último, sendo assim temos que a distribuição de escoramento solicitará a estrutura em idades iniciais com esforços superiores aos obtidos em projeto, o que pode ocasionar patologias significativas ou até a ruptura da estrutura;
- b) Para os casos submetidos à carga de concreto fresco, os esforços atuantes para os casos I e II apresentam valores próximos, sendo ambos consideravelmente menores que para o caso IV. Isso se dá pelo fato dos níveis de escoramentos contribuírem na distribuição dos carregamentos;
- c) Com relação às cargas atuantes nas etapas construtivas e o caso da edificação concluída, percebe-se que as cargas estimadas para o caso I foram menores em todas as situações que as encontradas na carga de projeto, logo, pode-se considerar o sistema de suporte deste caso como o mais recomendado e mais seguro entre os estudados para esse sistema construtivo em concreto armado.
- d) Conforme era esperado, tanto para os deslocamentos como para os esforços máximos, em relação aos eixos x e y , os valores encontrados para o caso I são menores que os casos II e III, isso é devido a demais níveis de escoramentos os quais distribuem as cargas;

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Os seguintes itens podem ser investigados e abordados em trabalhos futuros:

- Ampliação do estudo considerando as lajes com dimensões maiores,
- Consideração do peso da parede para análise das cargas transmitidas para as vigas;
- Utilização de cargas horizontais para ações variáveis, como por exemplo, a ação do vento;
- Ampliação da investigação teórica, considerando carregamentos uniformemente distribuídos nas lajes com diferentes dimensões.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____**NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____**NBR 8522: Determinação do Módulo Estático de Elasticidade à Compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____**NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____**NBR 14931: Execução de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____**NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ACI COMMITTEE 347 (1988). **Guide to formwork for concrete**, Detroit..

ANDRADE, M. A. S., GAMBALE, E. A., SANTOS, S.B. **Modelos predição do módulo de elasticidade do concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48º., 2006, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2006.

ASSAHI, P. N. **Sistema de fôrma para estrutura de concreto / Concreto-Ensino, pesquisa e realizações**. Ed: ISAIA, G. C São Paulo, Ibracon, 2005. Versão digital.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até a sua cobertura**, São Paulo – Edgard Bluchen 1977. 182p.

FREITAS, A. A. (2004). **Situações críticas no projeto de edifícios de concreto armado submetidos a ações de construção**. São Carlos, 2004. 103p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

HENNRICHS, C.A., **Estudos Sobre a Modelagem de Lajes Planas de Concreto Armado**. Florianópolis, 2003. 201p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MARANHÃO, G. M. **Fôrmas para Concreto: Subsídios para a Otimização do Projeto Segundo a NBR 7190/97**. São Paulo, 2000. 226p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

MARTINS, D.G. (2008). **Influência do tamanho do corpo de prova nos resultados de ensaios de modulo de deformação e resistência à compressão e suas correlações para concretos produzidos em Goiânia-(GO)**. Goiânia, 2008. 112p. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

MELO, A.C. NETO; HELENE, P. **Módulo de elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos**. 44º Congresso Brasileiro: São Paulo: Ibracon, 2002.

PACHECO, J.; BILESKY, P.; MORAIS, T.; HELENE, P. **Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto**. 56º Congresso Brasileiro do Concreto CBC/2014. Natal, RN: Ibracon 2014. Anais

PRADO, J.F.M.A. (1999). **Estruturas de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. São Carlos, 1999. 143p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SALVADOR, P.F. **Investigação teórica e experimental da transferência de cargas entre pavimentos de concreto escorado**. 2013. 207f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SANTOS, A. M. D., CABRAL, L. M. C., MONTEIRO, E. B. & HELENE, P. R. D. L.,(2013). **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico para diferentes dosagens de concreto.** 55º Congresso Brasileiro do Concreto. CBC/2013. Gramado, RS. Ibracon 2013. Anais.

Sinduscon-CE. **Manual de Fundamentos do Projeto Estrutural.** Fortaleza, CE, 2011, 55 p. Disponível em: <
<http://www.sindusconce.com.br/downloads/links/a94aaa967b80acece9942ed409d92ba3.pdf>> Acesso em: 31 de Maio de 2016.

TÉCHNE. **Garantia de Boa Estrutura.** Disponível em:
<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/115/artigo286353-3.aspx> Acesso em: 19 de Abril de 2016.