

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE COGUMELO E LAJE MACIÇA CONVENCIONAL

Gabriel Corrêa

Rondineli Alves

Orientador: Prof. Me. Wellington Coutinho da Silva

RESUMO

Neste trabalho, é realizado um estudo comparativo entre laje cogumelo e laje maciça. Por definição, sob olhar estrutural, as lajes são placas de concreto com geometria plana possuindo três dimensões. Como característica de sua composição, sua espessura é relativamente pequena quando comparada a extensão deste maciço composto por aço e concreto. A Laje Cogumelo se trata de um processo utilizado na construção civil. Sua função é transferir a carga que nela existe para os outros elementos estruturais do empreendimento assim como todos métodos construtivos, porém, a diferença está na composição e disposição destes elementos estruturais e o trabalho deles quanto aos esforços solicitados. A Laje Maciça trata-se de um processo utilizado na construção civil onde a transmissão de carga da edificação é feita das lajes para as vigas, posteriormente é transferida aos pilares que por fim descarregam na fundação. Este método é o mais difundido no Brasil. O interesse desse estudo é fornecer conhecimento sobre duas possibilidades de execução estrutural a fim de definir a melhor opção. Com o auxílio da ferramenta Eberick, gerando os quantitativos estruturais e do AutoCAD, nas definições de ações de modelagem do arquitetônico do empreendimento, busca-se otimizar o projeto com ênfase a reduzir o custo final da estrutura.

Palavras chaves: Lajes; Cogumelo; Maciça.

ABSTRACT

In this work, a comparative study between mushroom slab and solid slab is performed. By definition, from a structural point of view, slabs are concrete slabs with flat geometry having three dimensions. As a characteristic of its composition, its thickness is relatively small when compared to the extension of this solid mass composed of steel and concrete. Laje Cogumelo is a process used in civil construction. Its function is to transfer the load that exists in it to the other structural elements of the project, as well as all construction methods, however, the difference lies in the composition and arrangement of these structural elements and their work in terms of the required efforts. The Massive Slab is a process used in civil construction where the transmission of the building load is made from the slabs to the beams, which is later transferred to the pillars that finally unload on the foundation. This method is the most widespread in Brazil because the interest of this study is to provide knowledge about two possibilities of structural execution in order to define the best option. With the help of the Eberick tool, generating structural quantities and AutoCAD, in the definition of actions for modeling the project's architectural, the aim is to optimize the project with an emphasis on reducing the final cost of the structure.

Keywords: Slabs; Mushroom; Massive.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da ciência ao longo dos anos, e a busca pelo desejo de satisfazer as vontades do consumidor, alavanca a competitividade do mercado como um todo. De forma específica, na construção civil, considera-se que o fator determinante para o início de uma etapa de ascensão do setor no Brasil, está diretamente ligada à mudança do regime de governo ocorrida no ano de 1964, segundo Barros (2013). Para entendimento, o ano de 1964 ficou marcado pela destituição do então presidente João Goulart dando lugar às forças armadas do Brasil.

Neste mesmo ano foi criado o Banco Nacional de Habitação (BNH). Seu objetivo era fazer financiamento imobiliário para construções em larga escala, programa este, que proporcionou ao setor grande expansão até o fim da década de 70, conforme cita Barros (2013). Este período ficou marcado pelas construções de grandes conjuntos habitacionais, como o conjunto habitacional Padre Manoel de Nóbrega (figura 1), forçando as empresas a introduzirem técnicas inovadoras no processo construtivo em busca de melhorarem a produtividade dos serviços e a redução de custos. Para melhor compreensão, Silva e Tourinho (2015) comparam o programa Minha Casa Minha Vida, criado pelo governo federal no ano de 2009 ao BNH, pois ambos foram instalados para facilitar o acesso à moradia.

FIGURA 1 - Conjunto Habitacional Padre Manoel da Nóbrega, em Campinas/SP, financiado pelo BNH.



Fonte: (Sanvitto,2011).

Para acompanhar a industrialização que o setor vinha sofrendo no período, a busca por racionalizar e otimizar as etapas da construção se torna fator crucial, afirma

Barros (2013). O avanço da ciência possibilitou a introdução de técnicas inovadoras no setor.

Naquele período, as empresas aplicaram como técnica a incorporação de produtos pré-fabricados com o intuito de reduzir o tempo de execução. Porém Barros (2013), cita que em sua grande maioria esses produtos não eram ofertados no país, obrigando as construtoras a importarem de outros países.

Até o presente momento, verifica-se a necessidade de continuar a adoção de novas técnicas de construção ao setor. Oliveira (2010), cita que a atribuição de novas técnicas por parte das empresas eleva o nível de competitividade das mesmas, uma vez que essa atribuição é discutida com relação ao custo x benefício de sua implantação.

Com base nessa relação, a assertiva escolha do método estrutural para um empreendimento torna-se ponto importante. A evolução dos softwares para dimensionamentos e modelagem das estruturas oferecem diversas possibilidades para um mesmo projeto aos engenheiros responsáveis, permitindo assim a definição da melhor solução, cita Silva (2019).

Neste trabalho, foi utilizada a ferramenta Eberick 2021 para funções de cálculos estruturais do empreendimento e para ações de modelagem das plantas do pavimento foi utilizada a ferramenta AutoCAD 2021 que também forneceu auxílio aos quantitativos de materiais.

1.1 OBJETIVOS

Destacam-se os objetivos deste trabalho:

Objetivo Geral

Comparar duas soluções de dimensionamentos: lajes cogumelo e lajes maciças.

Objetivos Específicos

- Realizar um comparativo entre os dois processos construtivos;
- Apresentar o quantitativo de forma, aço e concreto para as duas lajes;
- Apresentar custo global para as duas lajes;

1.2 Justificativa

Em decorrência da alta competitividade enfrentada no mercado da construção civil e a evolução das técnicas construtivas nas construções ao longo do tempo, surge a necessidade de testar diversas possibilidades para um mesmo produto final, onde se deseja buscar a solução que seja mais viável financeiramente.

Cada método construtivo apresenta sua particularidade, portanto, este estudo confronta possibilidades, onde se busca definir a melhor alternativa construtiva com ênfase em reduzir o custo final do produto.

1.3 Metodologia

Neste trabalho serão apresentadas duas possibilidades de métodos construtivos. Através de correlações entre os dois tipos será justificada a escolha do método mais econômico. Com isso, considera-se essa pesquisa do tipo aplicada, pois ela busca otimizar e expor uma nova visão dos processos referentes aos sistemas construtivos apresentados em questão, que são eles do tipo laje cogumelo e laje maciça.

Este trabalho pode ser classificado do tipo Quali-Quantitativo. A escolha deste método é justificada pois permite fazer uma interação entre números e dissertações para que se tenha melhor entendimento. Esta classificação se faz presente neste trabalho, tendo em vista que se realizará um comparativo de sistemas construtivos entre laje cogumelo e laje maciça. Para expor clareza e fácil compreensão, será apresentado situações referentes ao consumo de materiais nos dois sistemas com auxílio dos softwares Eberick e AutoCAD.

O propósito deste conteúdo será apresentar correlações entre os dois métodos construtivos analisados. Oferecer aos leitores um novo ponto de vista entre estes sistemas comparados. A solução que apresentar menor relação custo x benefício justificará a escolha.

2 Lajes

Por definição, lajes são placas de concreto de superfície plana. Como característica possuem 3 dimensões que são largura, comprimento e espessura. Sua espessura quando relacionada às outras dimensões é pequena em relação ao plano

da laje, cita Carvalho (2009). Sua execução pode ser feita por concreto moldado in loco ou por estruturas pré moldadas em concreto. Cada elemento estrutural possui um comportamento quando solicitado a cargas. Existem dois métodos de dimensionamento para as lajes, segundo Carvalho (2009): elástico e de ruptura. Assim, cada um dos métodos anteriores citados será explorado nos textos a seguir desenvolvidos neste trabalho.

2.1 Laje Cogumelo

2.1.1 Histórico

No Brasil as lajes que não apresentam vigamento interno são nomeadas de diferentes formas em determinadas regiões do país. São conhecidas como lajes planas, lajes cogumelos ou lajes lisas. Claude Allen Porter Turner (1905) desenvolveu nos Estados Unidos um estudo que tinha como objetivo possibilitar a estrutura de laje plana (*Flat Plate*) melhor resistência aos esforços cisalhantes, através da presença da armadura de capitel. O método construtivo desenvolvido por Turner recebeu o nome de *Flat Slab*, que possui como tradução laje cogumelo. Na época, Turner (1905) recebeu inúmeros questionamentos por parte de outros especialistas por seu método de cálculo resultar em altas taxas de aço obtidas quando se comparado a outros métodos já existentes, conforme cita Cunha (1994).

2.1.2 Definição

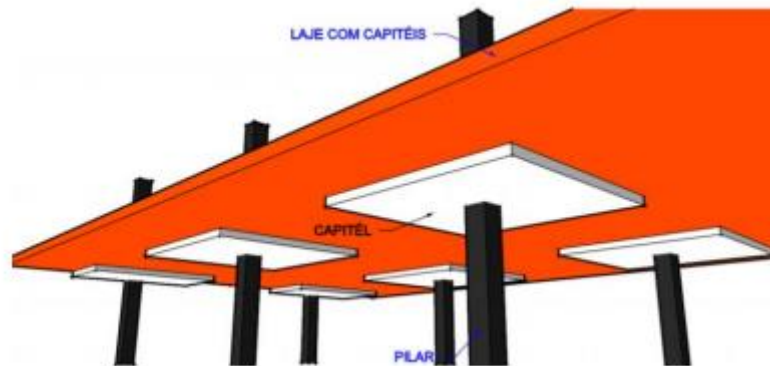
A norma brasileira ABNT NBR 6118 (2014), menciona como definição a laje cogumelo, o elemento de laje que se apoia diretamente em pilares com presença de capitéis.

As "*flats slabs*" conhecidas como "*lajes cogumelos*" não possuem vigamento interno. Sua diferença para as "*flats plates*" conhecidas como lajes planas está na presença da armadura de capitel, como na figura 2. Este elemento tem como função facilitar a transmissão de carga dos esforços cortantes no contato laje-pilar, cita Trigo (2017).

Na região de contato laje-pilar pode haver ruína por punção. Por se tratar de um ponto que será solicitado a altas tensões, portanto deve-se analisar a tendência

ao cisalhamento provocado por este fenômeno, cita Vale (2018). O resultado desta análise implicará ou não a necessidade de reforço da região de contato, através da presença de armadura aumentando a superfície de contato, por exemplo.

FIGURA 2 - Estrutura de laje cogumelo (composição da estrutura-transmissão de carga*).**



Fonte: Carlos (2013).

Conforme o item 13.2.4.1 da NBR 6118/2014, a espessura mínima da laje cogumelo ao fenômeno da punção, é de 14 cm, tendo limitação de 16 cm na região do capitel.

2.1.3 Método de cálculo à ruptura

O estudo consiste em apontar os estados críticos da estrutura para um colapso por cisalhamento. Neste método os esforços solicitados sobre a estrutura são definidos pelo método das charneiras plásticas de acordo com Carvalho (2009). Como exemplo de uma estrutura de concreto armado dimensionada pelo método das charneiras plásticas, tem-se a laje cogumelo como detalha Guarda (1995).

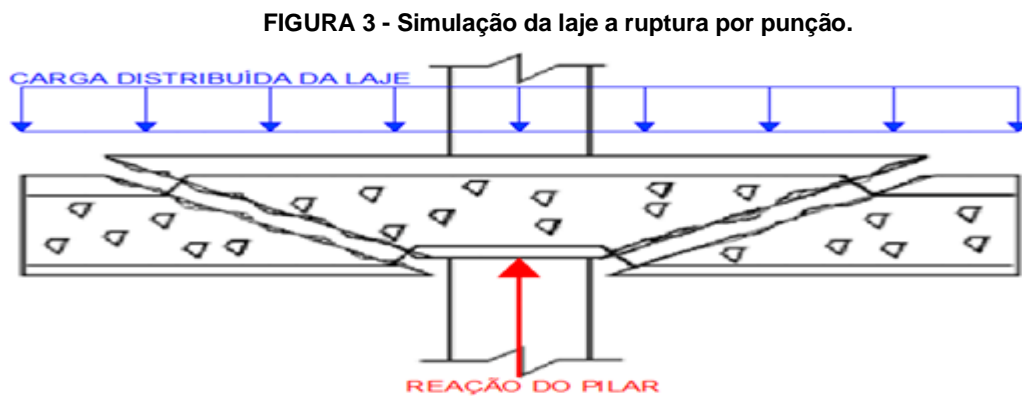
2.1.4 Punção

Punção é o resultado da ação de uma força concentrada em uma pequena superfície de contato. Esse ponto consiste na ligação laje-pilar.

Neste método construtivo o pilar submete a laje a um esforço cortante elevado causando danos a ligação laje-pilar, como por exemplo tem-se o puncionamento

inicial da estrutura podendo futuramente levar a sua ruína. Esta ruptura possui características próprias. Conforme cita Vale (2018) sua configuração em relação ao plano de contato da laje-pilar possui inclinação aproximada de 30° a 35°, como mostra a figura 3.

Por possuir maior zona de abrangência, Trigo (2017) cita que este tipo de ruptura acontece normalmente em pilares de centro, onde são depositados os maiores esforços.

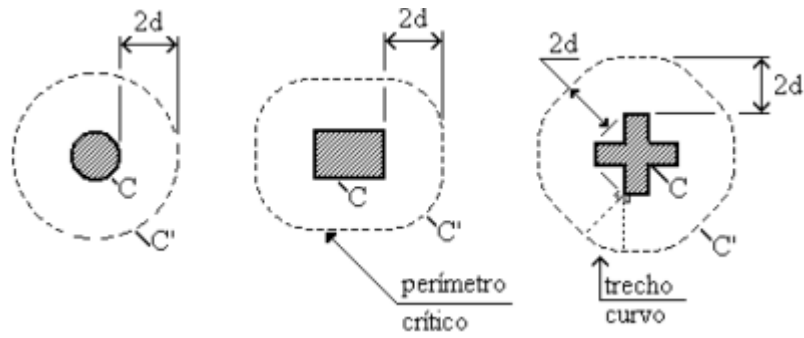


Fonte: Melges (1995).

Responsável por normatizar os dimensionamentos sobre os efeitos da punção, a NBR 6118 / 2014 oferece um modelo de cálculo para punção. A resistência ao cisalhamento deve então ser verificada de acordo com os perímetros de controle. Este modelo de cálculo consiste na verificação de no mínimo duas superfícies apontadas como críticas na região do pilar ou das cargas concentradas. Esta verificação se consiste em três hipóteses:

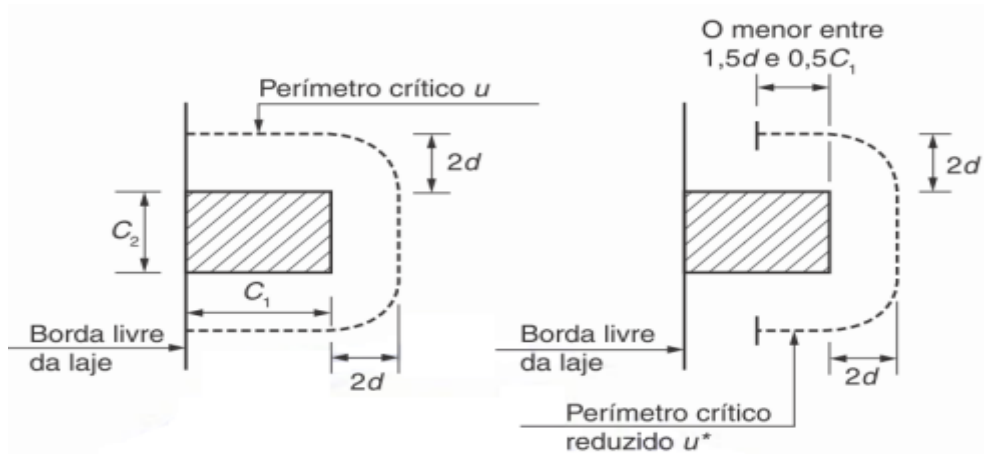
- Pilares internos (figura 4);
- Pilares em borda (figura 5);
- Pilares em canto (figura 6);

FIGURA 4 - Perímetro crítico em pilares internos.



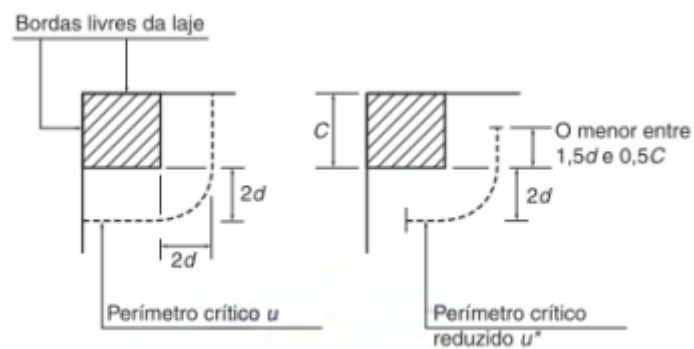
Fonte: NBR 6118/2014.

FIGURA 5 - Perímetro crítico em pilares de borda.



Fonte: NBR 6118/2014.

FIGURA 6 - Perímetro crítico em pilares de canto.



Fonte: NBR 6118/2014.

Assim, podemos realizar a verificação do contorno de 3 formas:

- **Verificação de contorno C** - Esta verificação é realizada de maneira indireta em relação a tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento. Este perímetro é a primeira superfície crítica do pilar ou da carga concentrada.
- **Verificação de contorno C'** - É realizada a verificação da capacidade da ligação à punção com afastamento em $2d$ do pilar.
- **Verificação de contorno C''** - Esta verificação apenas se faz necessária quando ocorre a necessidade da incorporação de armadura transversal.

2.1.5 Capitel

A laje cogumelo possui como uma de suas soluções de modo a prevenir a estrutura deste cisalhamento causado pelo efeito da punção, a presença de capitel no contato laje-pilar. A armadura de capitel é um elemento da estrutura característico por causar um engrossamento no contato laje-pilar, aumentando a superfície de contato nesta região como detalhado na figura 3. Sua função é ajudar a conduzir as cargas depositadas das lajes diretamente nos pilares (NETO,2012).

2.1.6 Vantagens

Conforme Azevedo (1999), este método construtivo apresenta como vantagens:

- Adaptabilidade a diversas formas ambientais;
- Simplificação na execução de fôrmas, armaduras e concretagem;
- Maior facilidade no lançamento, adensamento e desforma do concreto;
- Simplificação das instalações

2.1.7 Desvantagens

Ainda conforme Azevedo (1999), este método construtivo apresenta como desvantagens:

- Ausência de vigas em edifícios altos reduz a rigidez da estrutura podendo comprometer sua estabilidade global.
- Efeito do fenômeno da punção.
- As flechas encontradas no meio dos vãos em estruturas sem vigas são maiores quando comparados a estruturas com vigas.

2.2 LAJE MACIÇA CONVENCIONAL

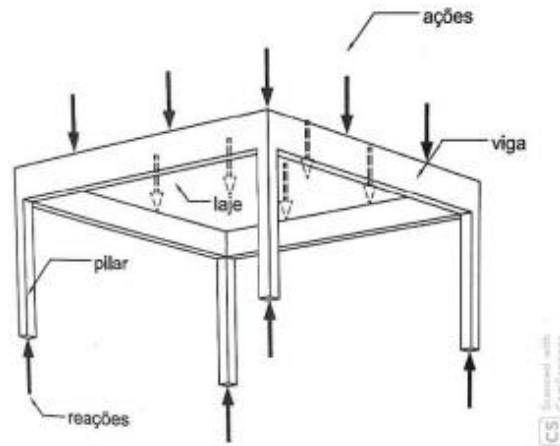
2.2.1 Histórico

Este sistema construtivo é chamado também de convencional no Brasil por ser tratar do método mais explorado ao longo de todo o tempo. Em função desta ocorrência, Spohr (2008) cita que a execução deste modelo construtivo é facilitando por conta dá mão de obra já obter o conhecimento desta técnica. Os elementos que compõem a laje maciça convencional são as lajes, vigas e pilares.

2.2.2 Definição

De acordo com Carvalho (2009), este elemento estrutural possui como característica distribuir as cargas geradas nas extremidades das lajes diretamente nas vigas de contorno, conforme Figura 7. Posteriormente a carga é transmitida aos pilares, que de forma axial conforme NBR 6118/2014, transferem a carga ao longo da estrutura até chegarem à fundação, como ilustrado na figura 7. Este último elemento citado é responsável por finalizar a transmissão da carga da estrutura junto ao solo.

FIGURA 7 - Estrutura laje maciça (transmissão de carga).



Fonte: Kripka 2011.

Conforme o item 13.2.4.1 da NBR 6118/14 (ABNT, 2014), às lajes maciças devem respeitar alguns parâmetros com relação a sua espessura, são eles:

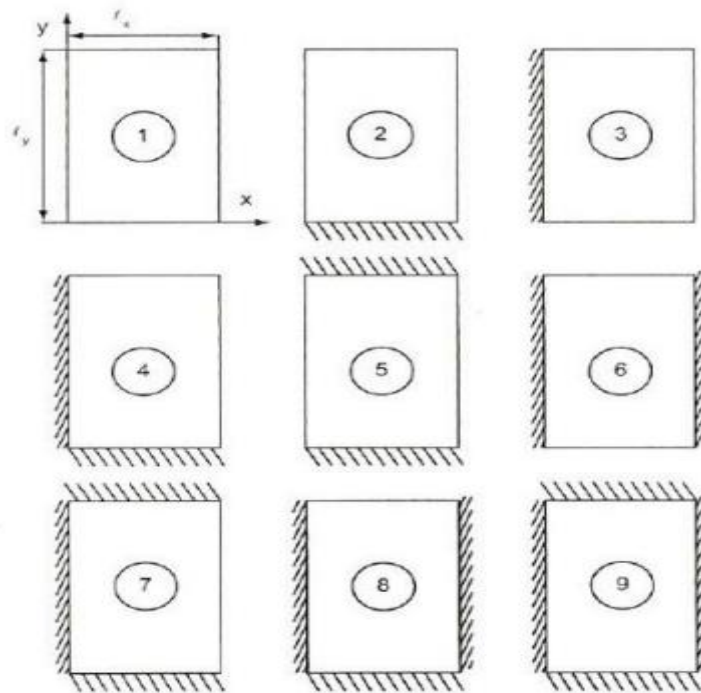
- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN.

2.2.3 Método de cálculo elástico

Nesse estudo considera-se a estrutura como elástica desconsiderando então as cargas cortantes que podem levar ao colapso da estrutura. Esta consideração se dá pelo fato de a carga ser distribuída uniformemente nas vigas de contorno (CARVALHO,2009).

Pode-se definir os esforços solicitados sobre a estrutura pela teoria das placas delgadas, por meio de séries, como na figura 8. Neste método as lajes são tratadas como placas isoladas que distribuem suas cargas nos apoios em seu contorno (CARVALHO, 2009).

FIGURA 8- Modelo de placas isoladas.



Fonte: Carvalho, 2009 (pág 302).

Como exemplo de estrutura de concreto armado dimensionada por esse método tem-se as lajes maciças, como detalha Carvalho (2009).

2.2.4 Etapas de Dimensionamento

Como mencionado no item anteriormente, a estrutura pode ser dimensionada de forma isolada pela teoria das placas delgadas por meio de séries. Carvalho (2009) cita como roteiro a seguir:

- Pré dimensionar altura das lajes;
- Calcular as cargas atuantes;
- Calcular as flechas;
- Calcular os momentos;
- Determinar as armaduras longitudinais;
- Calcular as reações de apoio das lajes nas vigas;

- Verificar o efeito das cargas cortantes (cisalhamento);
- Detalhar as armaduras

2.2.5 Vantagens

Este método construtivo apresenta como vantagens:

- Possui mão de obra treinada em abundância (CARVALHO, 2009).
- A construção de pavimentos tipos (idênticos) possibilita maior reaproveitamento das formas (CARVALHO,2009).
- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços. As reações das lajes são equacionadas e descarregadas na viga de contorno.
- Apresenta grande rigidez pelo fato da formação de vários pórticos ao longo da estrutura (ALBUQUERQUE,1999).

2.2.6 Desvantagens

Este método construtivo apresenta como desvantagens:

- O alto consumo de formas representa grande parcela no custo final (CARVALHO,2009).
- Reduz a produtividade da obra com relação a execução da estrutura, devida a quantidade de vigas no projeto (ALBUQUERQUE,1999).
- Este sistema possui uma menor capacidade de vencer vãos superiores por conta do peso próprio de sua estrutura (SOUZA E LOPES,2016).

2.3 PROCESSO CONSTRUTIVO

2.3.1 Concreto armado

Desde de sua aparição no campo da construção no Brasil, as estruturas de concreto armado são dominantes no setor independente do porte da edificação. Possui como característica a possibilidade de serem moldadas in loco ou serem pré fabricadas impactando diretamente na produtividade do serviço, conforme Barros e Melhado (2006). O concreto armado é composto por aço e concreto, sendo necessário o uso de fôrmas para delimitar sua dimensão de acordo com o proposto

no projeto da estrutura, como pode ser observado na figura 9. Sua função é resistir aos esforços solicitados mantendo a estrutura em equilíbrio, de acordo com Carvalho (2009).

FIGURA 9 - Estrutura de laje cogumelo.



Fonte: Barros e Melhado (2006).

Os materiais base necessários para execução da estrutura são encontrados abaixo.

2.3.2 Concreto

Este material é composto por água, cimento e agregados graúdos. O concreto pode ser caracterizado por sua resistência. Segundo Carvalho (2009) o concreto quando apresenta resistência superior a 40 MPa pode ser considerado de alto desempenho. Sua diferença está na presença de aditivos incorporados a solução água, cimento e agregados graúdos, o que resulta no melhor emprego deste material. Sua principal característica é sua resistência à compressão (f_{ck}). Pode-se mensurar sua resistência através dos ensaios de corpos de prova por compressão centrada, informa NBR 6118/2014.

A NBR 8953/2015 classifica os concretos em diferentes grupos. O grupo I caracteriza o concreto por sua resistência até a classe C50 e o grupo II caracteriza o concreto com resistência superior ao grupo I, tendo como limite de resistência a classe C100. O cobrimento de concreto da estrutura é responsável por garantir e proteger a estabilidade e durabilidade da mesma quanto às intempéries naturais. Conforme a NBR 6118/2014, cada zoneamento é caracterizado por sua classe de agressividade ambiental (QUADRO 1). Quanto mais exposta a estrutura a deterioração maior deverá ser seu cobrimento de concreto.

QUADRO 1 - Classes de Agressividade Ambiental.

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

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 / 2014.

Ao definir a classe de agressividade da estrutura, é possível definir o cobrimento dos elementos estruturais. (QUADRO 2).

QUADRO 2 - Classes de agressividade ambiental e cobertura nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobertura nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobertura nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobertura da armadura passiva deve respeitar os coberturas para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobertura nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os coberturas da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobertura nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6118 / 2014.

2.3.3 Aço

Este material é o produto de uma fusão metálica essencialmente composta de ferro e carbono. O aço pode ser caracterizado por sua textura e sua seção transversal nominal. Seu emprego na construção civil no Brasil deve condizer com os requisitos impostos pela NBR 7480/2007. A norma estabelece o valor característico da resistência de escoamento dos modelos CA-60, CA-50 e CA-25.

A norma classifica o tipo de barra através do seu coeficiente de conformação superficial que é responsável por caracterizar sua relação com o concreto. As barras podem ser de alta aderência (CA-50), entalhada (CA-60) e lisa (CA-25).

O aço apresenta como característica principal sua resistência à tração. Pode-se mensurar sua resistência através do ensaio de tração tendo que respeitar os requisitos impostos pela NBR ISO 6892 e 15630-1, informa a NBR 7480/2007.

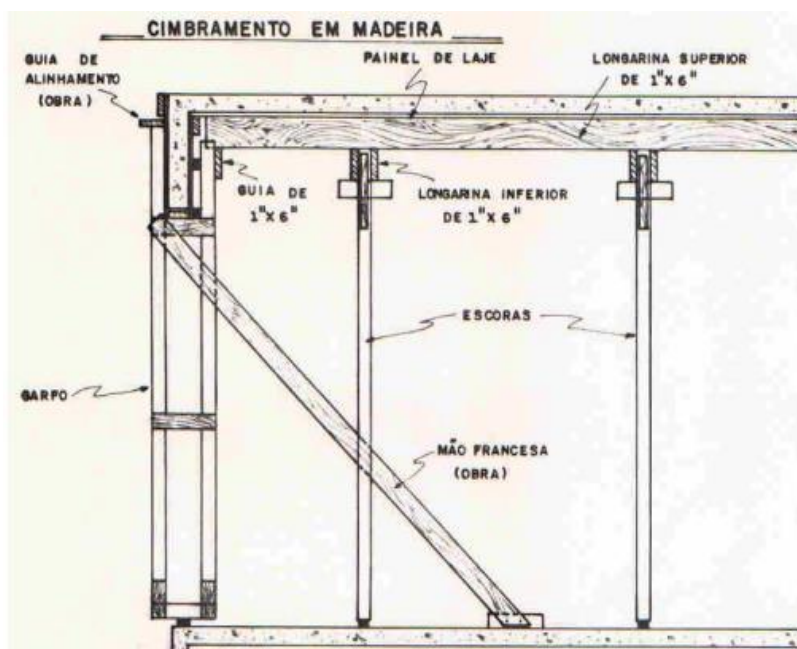
2.3.4 Madeira

O uso deste material na construção civil é de suma importância. Normalmente seu emprego é destinado a instalações temporárias no canteiro como cimbramentos e fôrmas. Segundo Assahi (2005), sua principal característica é dada pelo fato de ser o material responsável pela geometria das estruturas de concreto armado.

Conforme Salomão et.al (2019), o cimbramento consiste em um conjunto de elementos responsáveis por apoiar a carga da laje e das formas das vigas, como detalha a figura 10. Os elementos que o compõem são:

- ❖ - Escoras
- ❖ - Longarinas inferior
- ❖ - Longarinas superior
- ❖ - Madeira compensada

FIGURA 10 - Detalhamento cimbramento de madeira.



Fonte: Barros e Melhado (1998).

Portanto, a sua composição deve respeitar (PINI, 1995):

- Distância máxima entre as escoras eixo a eixo - 0,8 metros a 1,0 metros
- Distância máxima entre as longarinas horizontais eixo a eixo - 0,5 metros

O reaproveitamento das fôrmas e cimbramentos para a sequência da execução das estruturas é essencial para redução de custos. Conforme Costa e Ferreira (2018), para a execução de um pavimento tipo é importante definir com

antecedência o sistema de formas para que seja desenvolvido de forma racional a melhor solução para execução do projeto, a fim de reduzir o desperdício de tempo e material utilizado.

A NBR 15696/2009 é responsável por fixar os procedimentos e condições que cabe ao construtor respeitar na execução de fôrmas e escoramento para concreto moldado in loco. Os requisitos impostos pela norma garantem que a estrutura resista a aplicação das cargas remanescentes oriundos da ação do lançamento do concreto fresco moldado in loco.

2.3.5 Execução da estrutura

Para execução da estrutura de concreto armado deve se realizar um planejamento de evolução de obra a seguir, para que se garanta a qualidade, eficácia e organização das etapas a serem cumpridas. Para a execução da estrutura de concreto deve se realizar (BARROS; MELHADO, 1998; COSTA; FERREIRA, 2018):

- Recebimento e estocagem da madeira;
- Recebimento e estocagem do aço;
- Trabalho no molde das fôrmas dos pilares;
- Trabalho no molde das armaduras dos pilares;
- Posicionamento, liberação e concretagem dos pilares;
- Trabalho no molde das fôrmas das vigas;
- Trabalho no molde das armaduras de vigas e lajes;
- Posicionamento, liberação e concretagem das vigas e lajes;
- Desforma;
- Reinício;

3 Estudo de caso

O projeto do estudo de caso foi desenvolvido com o auxílio da ferramenta AutoCAD 2021. Esta ferramenta auxiliou na modelagem da planta arquitetônica do edifício.

Para realizar os dimensionamentos de cada estrutura de concreto armado, o software escolhido foi o Eberick V8. Este dimensionamento não foi desenvolvido por nós autores, por não ser esse o propósito deste estudo. Os dimensionamentos foram realizados em cima de uma mesma planta arquitetônica. Esta ferramenta possibilitou a obtenção dos quantitativos de materiais de cada elemento estrutural, os quais serão detalhados e comparados.

3.1 Caracterizando a construção

No presente trabalho realizou-se a elaboração de duas edificações de caráter multifamiliar sobre uma mesma planta arquitetônica (figura 11). Os edifícios possuem 4 andares tipo com 2 apartamentos por pavimento. Cada pavimento possui área de 203,86 m² e pé direito de 2,88 metros. O acesso às moradias é através de escada enclausurada.

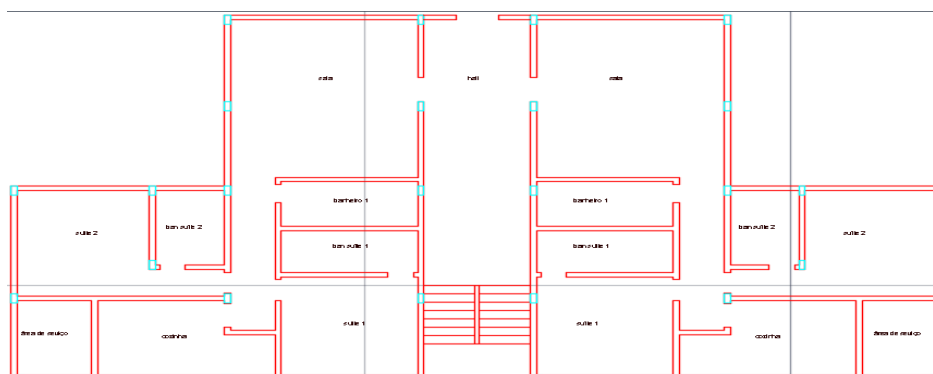
A estrutura é definida com classe de agressividade ambiental moderada, representando o nível II. O zoneamento definido para esta execução encontra-se na cidade de Juiz de Fora - (MG), região urbana com pequeno risco deterioração.

Partindo desta definição, estabeleceu-se conforme NBR 6118/2014, cobrimento nominal de concreto para os elementos de 3 centímetros.

Empregou-se o uso de concreto C30 para ambas, ou seja, sua resistência característica à compressão (F_{ck}) é de 300 kgf / cm². Deve ter dimensão máxima do agregado até 19 milímetros.

Este material terá de possuir módulo de elasticidade secante de 268384 kgf / cm² (E_{cs}).

FIGURA 11 - Planta arquitetônica dos edifícios



Fonte: Autores (2021)

3.1 ESTRUTURA DE LAJE COGUMELO

Com base na planta de arquitetônico desenvolveu-se um projeto compatibilizado de estrutura do tipo laje cogumelo. A planta de fôrma apresenta a disposição dos elementos em cada pavimento, a qual está contida em anexo no trabalho.

Através das plantas de detalhamento das armaduras positivas nas duas direções ortogonais. Esta armadura apresenta o mesmo detalhamento em todos os andares. A Tabela 1, corresponde ao seu consumo total.

TABELA 1 - Consumo do aço positivo para os eixos X e Y das lajes de todo edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	8.0	16.700,4	7.248,8
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 7.248,8			

Fonte: Autores (2021).

3.1.1 Armadura negativa

A função desta armadura na estrutura é resistir aos esforços provenientes dos momentos negativos atuantes. Sua disposição, é necessária em determinados pontos nos dois sentidos ortogonais. Sua armação é feita acima da armadura positiva. Após

a análise do 1º pavimento, foi desenvolvido os cálculos do consumo total, baseando-se que os demais pavimentos são semelhantes, portanto, temos a tabela 2 para o prédio inteiro.

TABELA 2 - Consumo do aço negativo para os eixos X e Y das lajes de todo edifício

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	10.0	868	588,8
CA 50	12.5	2.006,8	2.126,4
CA 60	5.0	3.154,8	534,8
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 2.715,2			
CA-60 = 534,8			

Fonte: Autores (2021).

3.1.2 Armadura de capitel

No contato laje-pilar como é característica desse tipo de estrutura, distribuimos armadura nos dois sentidos ortogonais. Foi introduzida dupla armadura como detalha, a fim de melhorar a condução das cargas das lajes para os pilares e aumentar sua área de abrangência neste maciço. Após a análise do 1º pavimento, foi desenvolvido os cálculos do consumo total, baseando-se que os demais pavimentos são semelhantes, portanto, temos a tabela 3 para o prédio inteiro.

TABELA 3 - Consumo do aço dos capitéis para todo edifício.

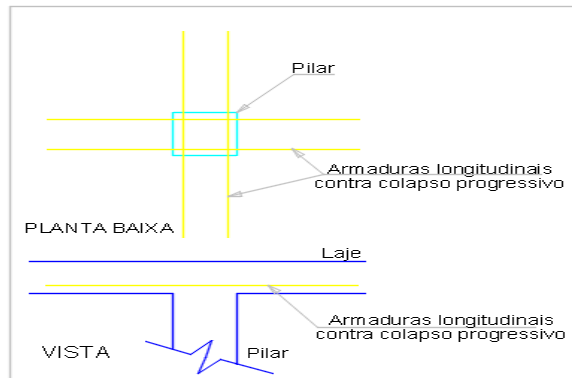
AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	526,4	141,6
CA 50	8.0	142	62
CA 50	10.0	198	134,4
CA 50	12.5	243,6	258
CA 50	16.0	48,4	83,6
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 679,6			

Fonte: Autores (2021).

3.1.3 Armadura de punção

Foi constatada a necessidade de armadura de punção, como na figura 12 na região de contato dos pilares, mais especificamente nos pilares 6, 7, 12, 13, 17,18, 20, 23.

FIGURA 12 - Corte detalhado armadura de punção.



Fonte: Autores (2021).

Assim, foram desenvolvidos os cálculos do consumo total, os resultados são demonstrados na tabela 4.

TABELA 4 - Consumo do aço para punção de todo edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	10.0	99,2	67,2
CA 50	12.5	110,4	116,8
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 184			

Fonte: Autores (2021).

3.1.4 Consumo de materiais laje

Consumo de concreto lajes

Conforme informado no item 3.1, a laje possui metragem de 203,86 m². Tendo em vista que a mesma possui 14 cm de espessura em sua extensão, é possível quantificar o volume de concreto em m³ consumido (Tabela 5) por esse maciço.

TABELA 5 - Consumo de concreto por pavimento laje cogumelo.

ÁREA DA LAJE (m ²)	ESPESSURA (m)	VOLUME (m ³)
203,86	0,14	28,54

Fonte: Autores (2021).

Por se tratar de uma edificação com pavimentos tipo, foi possível empregar para todo o edifício o mesmo detalhamento. Com isso, para encontrarmos o volume de concreto das lajes para todo o edifício, bastou-se multiplicar o volume encontrado no primeiro pavimento pelo número de andares desta construção.

TABELA 6 - Consumo de concreto total das lajes do edifício.

VOLUME DE CONCRETO 1° PAVIMENTO (m ³)	NÚMERO DE ANDARES DO EDIFÍCIO	VOLUME DE CONCRETO TOTAL (m ³)
28,54	4	114,16

Fonte: Autores (2021).

Consumo de aço lajes

Para obter o consumo total de aço para todas as armaduras do edifício, foram realizados o somatório do consumo dos aços CA-50 e CA-60 utilizado para cada pavimento, os quais foram calculados e geraram as tabelas 1, 2, 3 e 4. Por fim foi possível calcular o consumo total deste material para todo o edifício, conforme pode ser visto na tabela 7.

TABELA 7 - Consumo do aço total para as lajes de todo edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	526,4	141,6
CA 50	8.0	16.842,4	7.310,8
CA 50	10.0	1.165,2	790,4
CA 50	12.5	2.360,8	2.501,2
CA 50	16.0	48,4	83,6
CA 60	5.0	3.154,8	534,8
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 10.827,6			
CA-60 = 534,8			

Fonte: Autores (2021).

Consumo de fôrmas lajes

O consumo de fôrmas foi apresentado em m² para facilitar nos orçamentos. Para a execução da laje foi necessário o consumo de 203,86 m² de fôrma.

A fôrma utilizada na laje será reaproveitada nos andares subsequentes. Este reaproveitamento é possível, pois, esta edificação possui andares idênticos, reduzindo consideravelmente seu consumo e conseqüentemente o custo deste material.

3.2 Detalhamento estrutural das vigas

Ao todo foram necessárias 18 vigas no entorno de toda a estrutura. Por questões práticas e de reaproveitamento definiu-se o mesmo detalhamento de vigas para todos os pavimentos subsequentes.

Porém, não foi possível em decorrência das ações das cargas atuantes, a padronização das seções delas no mesmo pavimento. Os detalhamentos das vigas são apresentados no anexo deste trabalho.

3.2.1 Consumo de materiais das vigas

Consumo de aço vigas

Com base nos detalhamentos realizados no item 3.2, foi possível identificar o consumo de aço para as vigas do 1º pavimento. Assim, como os pavimentos são semelhantes, foram calculados o consumo de aço das vigas para todo o edifício, obtivemos os resultados conforme a tabela 8.

TABELA 8 - Consumo do aço total das vigas para todo o edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	152,4	41,2
CA 50	8.0	1.052,4	456,8
CA 50	10.0	730,8	495,6
CA 50	12.5	81,2	86,4
CA 60	5.0	1.621,6	274,8
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 1.080			
CA-60 = 274,8			

Fonte: Autores (2021).

Consumo de concreto vigas

Com o auxílio do detalhamento realizado no item 3.2, encontramos como volume de concreto para as vigas do 1º pavimento o valor de 5,9 m³. O detalhamento desses elementos se repetem nos andares subsequentes. Com isso, foi possível encontrar o consumo de concreto das vigas para toda a estrutura, conforme a tabela 9.

TABELA 9 - Consumo do concreto das vigas para todo o edifício.

VOLUME DE CONCRETO 1º PAVIMENTO (m ³)	NÚMERO DE ANDARES DO EDIFÍCIO	VOLUME DE CONCRETO TOTAL (m ³)
5,90	4	23,60

Fonte: Autores (2021).

Consumo de fôrmas vigas

O consumo de fôrmas para execução das vigas deste pavimento foi de 92,08 m². Assim como realizado para execução das lajes, nas vigas foi considerado seu reaproveitamento para os andares subsequentes.

3.3 Detalhamento estrutural dos pilares

A NBR 6118 delimita como seção mínima do pilar 360 cm² e dimensão mínima da menor face 14 cm. Nesse projeto, foram necessários 30 pilares na estrutura. Procurou-se estabelecer medida única para pilares de 15 cm x 30 cm tendo então seção de 450 cm². Porém, os pilares 20 e 23 não foram aprovados nessas dimensões. Estes tiveram dimensões de 15 cm x 35 cm tendo seção de 525 cm².

3.3.1 Consumo de materiais dos pilares

Consumo de concreto dos pilares

Através do detalhamento realizado no item 3.3, identificamos um consumo de concreto dos pilares do 1º pavimento de 3,93 m³. Tendo em vista que estes elementos

se repetem nos andares subsequentes, foi possível encontrarmos o consumo de concreto dos pilares (Tabela 10) para toda a estrutura.

TABELA 10 - Consumo do concreto dos pilares para todo o edifício.

VOLUME DE CONCRETO 1° PAVIMENTO (m ³)	NÚMERO DE ANDARES DO EDIFÍCIO	VOLUME DE CONCRETO TOTAL (m ³)
3,93	4	15,72

Fonte: Autores (2021).

Consumo de aço dos pilares

Analisando os detalhamentos realizados no item 3.3, elaboramos o cálculo que representa o consumo de aço para execução dos pilares no 1° pavimento. Em decorrência da repetição do detalhamento dos pilares nos andares subsequentes, foi possível quantificar seu uso em todo edifício conforme indica a Tabela 11.

TABELA 11 - Consumo do aço dos pilares para todo edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	10.0	2.047,6	1388,8
CA 50	10.0	620,4	657,6
CA 60	5.0	2520,4	427,2
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 2.046,4			
CA-60 = 427,2			

Fonte: Autores (2021).

Consumo de fôrmas dos pilares

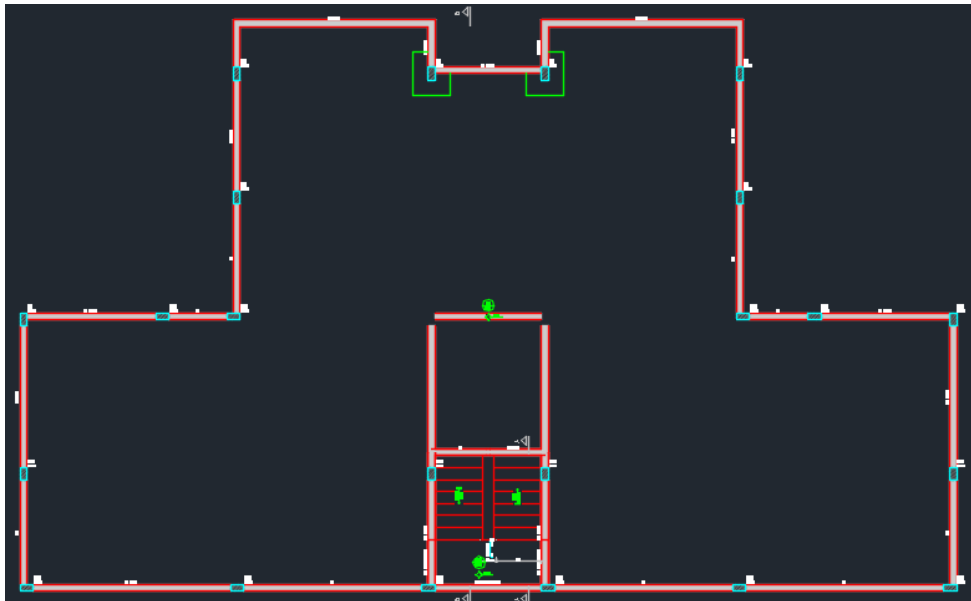
Com base no item 3.3, calculamos o consumo de fôrma necessária para os pilares do pavimento tipo. Encontramos uma área de 78,34 m² de fôrma para sua execução. O fato dos andares seguintes serem idênticos, permitiu a reutilização das fôrmas para o restante do edifício.

3.4 Detalhamento escada

Para adequação entre pisos e espelhos da escada foi utilizado a relação desenvolvida por Blondel, onde 2E + P deve gerar um resultado entre 63cm ou 64cm. Conforme o item 5.7.7.3.2 da IT - 08 (Saída de emergência em edificações) do Corpo de Bombeiros, foi respeitada a largura das escadas.

O limite permitido na norma está no intervalo de 1,10 m a 1,65 m. A largura adotada neste edifício foi 1,20 m. Para armação da escada foi necessária a disposição de armaduras positivas e negativas.

FIGURA 13 - Planta de fôrma das escadas pavimento tipo.



Fonte: Autores (2021).

3.4.1 Consumo de materiais escada

Consumo de concreto das escadas

O consumo de concreto para as escadas do 1º pavimento foi de 1,34 m³. A Tabela 12 indica seu consumo em todo edifício.

TABELA 12 - Consumo do concreto das escadas para todo o edifício.

VOLUME DE CONCRETO 1º PAVIMENTO (m ³)	NÚMERO DE ANDARES DE ESCADAS	VOLUME DE CONCRETO TOTAL (m ³)
1,34	3	4,02

Fonte: Autores (2021).

Consumo de aço das escadas

Em análise dos detalhamentos contidos no item 3.4, calculamos os valores dos quantitativos de aço para o 1º pavimento. Assim, tendo que os demais pavimentos são semelhantes, calculamos o aço utilizado nas escadas em todo o edifício, conforme a tabela 13.

TABELA 13 - Consumo do aço das escadas para todo edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	90,3	24,3
CA 50	8.0	75,6	32,7
CA 50	10.0	93	63,3
CA 60	5.0	178,2	30,3
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 120,3			
CA-60 = 30,3			

Fonte: Autores (2021).

Consumo de fôrmas das escadas

Ao contrário de todos elementos, este é o único elemento da estrutura que consideramos a reutilização das fôrmas. A área de fôrma necessária para execução do 1º pavimento é 15,10 m². A Tabela 14 aponta o consumo para todo edifício.

TABELA 14 - Consumo de fôrma das escadas para todo edifício.

ÁREA DE FÔRMA ESCADAS 1º PAVIMENTO (m²)	NÚMERO DE ANDARES DE ESCADAS	ÁREA DE FÔRMA TOTAL (m²)
15,1	3	45,3

Fonte: Autores (2021).

3.5 ESTRUTURA DE LAJE MACIÇA CONVENCIONAL

Com base na planta de arquitetônico, desenvolveu-se um projeto compatibilizado para este edifício. Esta construção apresenta o mesmo projeto arquitetônico que a mencionada no item 3, porém, a diferença está no método estrutural aplicado. A planta de fôrma é responsável por indicar a disposição dos elementos estruturais do pavimento tipo, para este método estrutural.

Em análise realizada nas plantas de fôrma dos anexos, nota-se como principal diferença a presença de vigas internas na estrutura de laje maciça convencional.

3.5.1 Detalhamento estrutural da laje maciça convencional

No dimensionamento, respeitou-se os critérios mínimos estabelecidos pela NBR 6118 quanto a espessura da laje. Esta norma delimita alguns parâmetros conforme mencionado no item 2.2.2.

3.5.2 Armadura positiva e negativa eixo x

Há um detalhamento das figuras em anexo, essas são responsáveis por detalhar as respectivamente a armadura positiva e armadura negativa para o eixo x deste maciço para o pavimento tipo.

Através do detalhamento das plantas de armadura positiva e negativa presente no anexo citado anteriormente, identificamos o consumo de aço desta armadura, para o 1º pavimento, como os demais são semelhantes, calculamos o consumo de aço positivo e negativo para o edifício, conforme a tabela 15.

TABELA 15 - Consumo do aço positivo e negativo eixo X para todo o edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	2.128,8	573,2
CA 50	8.0	211,1	366,4
CA 50	10.0	389,8	1.057,2
CA 60	5.0	105,3	71,6
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 1.996,9			
CA-60 = 71,6			

Fonte: Autores (2021).

3.5.3 Armadura positiva eixo y

Detalha a disposição da armadura positiva no eixo y ao longo do maciço, foram realizados cálculos semelhantes a armadura do eixo x, para encontrar o primeiro o consumo de aço no 1º pavimento, assim como considerado anteriormente que os demais pavimentos são semelhantes, foi desenvolvida a tabela 16 que contempla a todo edifício.

TABELA 16 - Consumo do aço positivo no eixo Y para todo o edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	1.741,6	468,8
CA 50	8.0	2.722,8	1.182
CA 60	5.0	752,8	127,6
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 1.650,8			
CA-60 = 127,6			

Fonte: Autores (2021).

Consumo de concreto lajes

Conforme informado anteriormente, a laje possui metragem de 203,86 m². Porém, diferente do realizado no item de detalhamento de laje cogumelo, onde a área da laje era toda livre, nas lajes maciças devemos descontar a área consumida pelas vigas internas ao longo deste maciço, para enfim levantarmos o consumo seu consumo de concreto.

Com o auxílio do AutoCAD, identificamos o valor da área consumida pelas vigas de 13,7 m². Quanto à espessura de laje, foi adotado 10 cm em todo o maciço, pois foi adotado para fins de cálculo um carregamento total ou menor que 30 KN. Como os andares subsequentes são idênticos, foi calculado o consumo de concreto para todo edifício, assim obtivemos o resultado conforme a tabela 17.

TABELA 17 - Consumo do concreto total das lajes do edifício.

VOLUME DE CONCRETO 1° PAVIMENTO (m ³)	NÚMERO DE ANDARES DO EDIFÍCIO	VOLUME DE CONCRETO TOTAL (m ³)
19,02	4	76,08

Fonte: Autores (2021).

Consumo de aço lajes

A fim de descobrir o consumo total de aço para todas as armaduras do 1 ° pavimento, fizemos o somatório do consumo dos aços CA-50 e CA-60, utilizados. Como os andares subsequentes são idênticos, foi calculado o aço de concreto para todo edifício, assim obtivemos o resultado conforme a tabela 18.

TABELA 18 - Consumo do aço total para as lajes de todo edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	3.870,4	1.042
CA 50	8.0	3.567,2	1.548,4
CA 50	10.0	1.559,2	1.057,2
CA 60	5.0	1.174	199,2
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 3.647,6			
CA-60 = 796,8			

Fonte: Autores (2021).

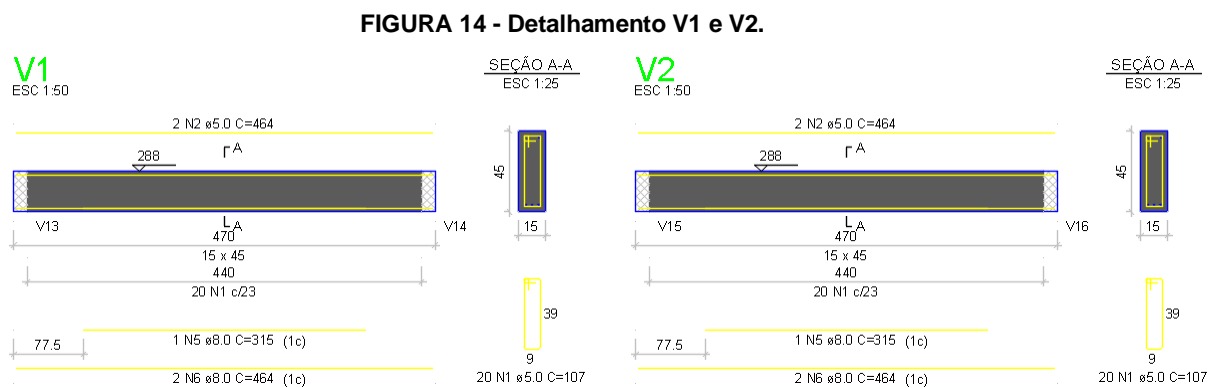
Consumo de fôrmas lajes

A área de fôrma necessária para a execução da laje é de 190,16 m². Assim como de detalhamento de laje cogumelo, foi considerada a reutilização da fôrma da laje nos andares subsequentes. Isto é possível por se tratar de uma estrutura de pavimento tipo.

3.5.4 Detalhamento estrutural das vigas

Para o equilíbrio deste maciço foram necessárias 21 vigas, 3 vigas a mais que na execução das lajes tipo cogumelo. Buscou-se padronizar assim que possível as seções das vigas para facilitar sua execução e reaproveitamento de fôrmas, como na figura 14.

Por se tratar de um edifício de pavimentos tipo, assim como feito anteriormente, foi possível manter o mesmo detalhamento nos andares subsequentes.



Fonte: Autores (2021).

3.5.5 Consumo de materiais das vigas

Consumo de aço vigas

De acordo com os detalhamentos realizados anteriormente, calculamos o quantitativo do consumo de aço para as vigas do 1º pavimento. As vigas possuem o mesmo detalhamento nos andares subsequentes. A tabela 19 apresenta seu consumo para todo edifício.

TABELA 19 - Consumo do aço total das vigas para todo o edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	6.3	16,8	4,8
CA 50	8.0	2.525,6	1.096
CA 50	10.0	987,2	669,2
CA 50	12.5	217,6	230,8
CA 60	5.0	3.176,4	538,4
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 2.000,8			
CA-60 = 538,4			

Fonte: Autores (2021).

Consumo de concreto vigas

Analisando o detalhamento de cada elemento exposto, obtivemos o volume de concreto necessário para cobrir as vigas no 1º pavimento. O valor encontrado foi de 11,54 m³. Como os andares seguintes são idênticos, calculamos seu consumo de concreto para todo edifício, conforme a tabela 20.

TABELA 20 - Consumo do concreto das vigas para todo o edifício.

VOLUME DE CONCRETO 1º PAVIMENTO (m³)	NÚMERO DE ANDARES DO EDIFÍCIO	VOLUME DE CONCRETO TOTAL (m³)
11,54	4	46,16

Fonte: Autores (2021).

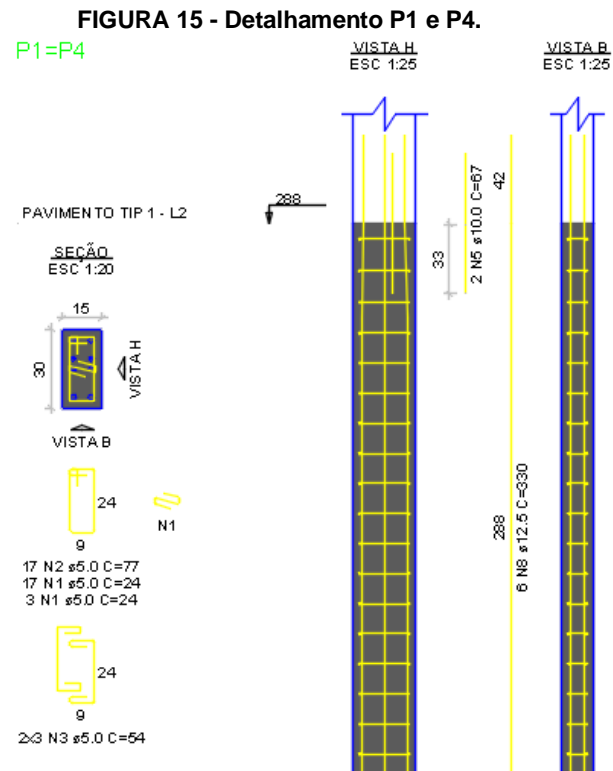
Consumo de fôrmas vigas

A área de forma necessária para execução das vigas foi de 179,67 m². Consideramos seu aproveitamento para os andares subsequentes.

3.5.6 Detalhamento estrutural dos pilares

Adotamos as mesmas condições por norma citadas no item 3.3. Porém, nos pilares deste método, foi possível manter dimensão única de 15cm x 30cm para os pilares de todo pavimento tipo e um total de 30 unidades. Assim como na figura 15

que esboça o detalhamento das armaduras dos pilares para todo o pavimento em questão.



Fonte: Autores (2021).

3.5.7 Consumo de materiais dos pilares

Consumo de concreto dos pilares

Com base nos detalhamentos do item 3.3, calculamos o consumo de concreto dos pilares do 1º pavimento, o valor encontrado foi de 3,89 m³. A Tabela 21 aponta seu consumo em m³ em todo edifício, tendo em vista que os pilares se repetem nos andares seguintes.

TABELA 21 - Consumo do concreto dos pilares para todo o edifício.

VOLUME DE CONCRETO 1º PAVIMENTO (m³)	NÚMERO DE ANDARES DO EDIFÍCIO	VOLUME DE CONCRETO TOTAL (m³)
3,89	4	15,56

Fonte: Autores (2021).

Consumo de aço dos pilares

Assim foi feito o cálculo em relação ao detalhamento apresentado no item 3.3. Nela é apresentado o consumo de aço necessário para execução dos pilares para o pavimento tipo. O detalhamento da armadura se repete nos andares seguintes. Portanto, a Tabela 22 indica seu consumo em todo edifício.

TABELA 22 - Consumo do aço dos pilares para todo edifício.

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA 50	10.0	1.589,6	1.078
CA 50	12.5	808,8	857,2
CA 50	16.0	109,2	189,6
CA 60	5.0	2.488,8	422
PESO TOTAL (KG)			
CA-50 = 2.124,8			
CA-60 = 422			

Fonte: Autores (2021).

Consumo de fôrmas dos pilares

A área de fôrma necessária para execução dos pilares foi de 77,76 m². Foi considerado seu reaproveitamento para os andares seguintes.

3.6 Detalhamento escada

Para adequação das escadas considerou-se os mesmos padrões detalhados no item 3.4. A tabela aponta um consumo de concreto de 1,34 m³ para o pavimento tipo e um total de 4,02 m³ para todo edifício, já para as formas a tabela aponta um valor de 15,1 m² para execução do pavimento tipo e um total de 45,3 m² para todo o edifício, além de um consumo de aço aproximado de 141,9 Kg para todo o edifício.

4 Análise

4.1 Análise do concreto

Notou-se um consumo de concreto aproximado entre os dois métodos construtivos. Grande diferença é encontrada quando comparado as vigas e as lajes de cada estrutura. Em maior número, no maciço convencional, a presença de vigas internas responsáveis pela transmissão das cargas aos pilares, elevam seu consumo com relação a cogumelo.

Ao analisarmos o consumo de concreto consumido pelas lajes de cada elemento, notamos nas lajes cogumelo (tabela 23), consumo superior quando comparado a laje maciça convencional (tabela 24). Este fato ocorre, pois, ao adotarmos os critérios mínimos de espessura de cada elemento estrutural impostos pela NBR 6118/2014, sendo 14 cm para as cogumelo e de 10 cm para as lajes maciças convencionais, encontramos um maior consumo de concreto na laje cogumelo.

TABELA 23 - Orçamento do concreto da estrutura laje cogumelo.

MATERIAL	FCK	CÓD	PREÇO (m ³)	VOLUME (m ³)	PREÇO TOTAL (R\$)
CONCRETO	30	EST-COM-120	452,57	157,5	71.279,77

Fonte: Autores (2021).

TABELA 24 - Orçamento do concreto da estrutura laje maciça convencional.

MATERIAL	FCK	CÓD	PREÇO (m ³)	VOLUME (m ³)	PREÇO TOTAL (R\$)
CONCRETO	30	EST-COM-120	452,57	141,82	64.183,48

Fonte: Autores (2021).

4.2 Análise do aço

Quanto ao aço, reparamos um consumo na estrutura cogumelo de aproximadamente 29% superior ao encontrado na estrutura maciça convencional. Em análise realizada a cada elemento das duas estruturas, notamos que a principal diferença está no consumo de aço das lajes, em especial no consumo de aço positivo e negativo.

A diferença de seção notada no consumo de aço positivo e a maior ocorrência de engastes exigindo o uso do aço negativo, foram fatores determinantes para o elevado consumo nas lajes cogumelo quando comparado a laje maciça convencional (tabela 25 e 26).

TABELA 25 - Orçamento do aço da estrutura laje cogumelo.

AÇO	DIAM	CÓD	PREÇO (kg)	PESO + 10% (kg)	COMPRIMENTO (m)	PREÇO (R\$)
CA50	6.3	00000032	12,51	207,1	769,1	2.590,82
CA50	8.0	00000033	12,58	7.800,3	17.970,4	98.127,78
CA50	10.0	00000034	11,86	2.738,1	4.036,6	32.473,87
CA50	12.5	00043055	10,27	3.245,2	3.062,4	33.328,20
CA50	16.0	00043055	10,27	83,6	48,4	858,57
CA60	5.0	00043059	11,22	1.267,1	7.475	14.216,86
						TOTAL=181.596,10

Fonte: Autores (2021).

TABELA 26 - Orçamento do aço da estrutura laje maciça convencional.

AÇO	DIAM	CÓD	PREÇO (kg)	PESO + 10% (kg)	COMPRIMENTO (m)	PREÇO (R\$)
CA50	6.3	00000032	12,51	1.066	3.958,3	13.335,66
CA50	8.0	00000033	12,58	2.681,6	6.178,3	33.734,53
CA50	10.0	00000034	11,86	2.859,6	4.217,6	33.914,86
CA50	12.5	00043055	10,27	1.088	1.026,4	11.173,76
CA50	16.0	00043055	10,27	189,6	109,2	1.947,19
CA60	5.0	00043059	11,22	1.189,9	7.018,3	13.350,68
						TOTAL=107.456,68

Fonte: Autores (2021).

4.3 Análise da fôrma

Por fim, em análise ao consumo de fôrma dos elementos, conseguimos reduzir consideravelmente o consumo de fôrma das duas estruturas (tabela 27 e 28), quando definimos sua reutilização nos andares subsequentes. Esta ação foi possibilitada pelo fato de possuírem andares idênticos.

TABELA 27 - Orçamento da fôrma da estrutura laje cogumelo.

MATERIAL	CÓD	PREÇO (m ²)	ÁREA (m ²)	PREÇO TOTAL (R\$)
FÔRMA	EST-FOR-025	44,54	419,58	18.688,09

Fonte: Autores (2021).

TABELA 28 - Orçamento da fôrma da estrutura laje maciça cogumelo.

MATERIAL	CÓD	PREÇO (m ²)	ÁREA (m ²)	PREÇO TOTAL (R\$)
FÔRMA	EST-FOR-025	44,54	492,89	21.953,32

Fonte: Autores (2021).

Observou-se como fator determinante para o elevado consumo de fôrmas das vigas na estrutura maciça convencional em relação a estrutura cogumelo, a presença de vigas internas necessárias para transmitir as cargas aos pilares. Esta ocorrência resultou em um maior número de vigas nesta estrutura e conseqüentemente seu maior consumo.

4.5 Comparativo de custo global

A Tabela 29 apresenta o comparativo referente aos orçamentos das duas estruturas.

TABELA 29 - Custo global das duas estruturas.

LAJE COGUMELO	LAJE MACIÇA CONVENCIONAL
Concreto – R\$ 71.279,77	Concreto – R\$ 64.183,48
Aço – R\$ 181.596,10	Aço – R\$ 107.456,68
Fôrma – R\$ 18.688,09	Fôrma – R\$ 21.953,32
TOTAL = 271.563,96	TOTAL = 193.593,48

Fonte: Autores (2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por ser mais econômica, é justificada a escolha da estrutura de laje maciça convencional. Este método é aproximadamente 29 % mais econômico em relação ao custo global para execução da laje cogumelo. Observa-se que o consumo de aço na laje cogumelo foi o principal fator para a diferença encontrada.

Em lajes, o consumo de aço negativo consumido pela laje convencional representou grande parcela para essa redução. Esta ocorrência se deu pela preferência em trabalhar assim que possível, com lajes classificadas como apoiadas. As lajes apoiadas possuem seus bordos livres, reduzindo então, o consumo de armadura negativa.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi observado que cada projeto exige seu tratamento individual. No entanto ressalta-se que, mediante alteração do uso e da tipologia de cada edificação, essas relações podem alterar consideravelmente. Assim, cada projeto exigirá uma análise individualizada como a aos resultados obtidos no presente trabalho.

Portanto, para um edifício foi simulado duas alternativas estruturais, com objeto de efetuar a comparação do orçamento na construção de ambos, onde é sugerida a solução mais viável entre as alternativas. A submissão destas estruturas a outras condições, pode apontar outra solução estrutural financeira mais viável para o empreendimento.

Destacamos como crucial as ferramentas Eberick V8 e AutoCAD 2021, pois estas foram determinantes para o desenvolvimento deste estudo. O desenvolvimento de novas técnicas construtivas atreladas à inteligência dos softwares, permite simular alternativas em busca do objetivo desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6118/2014 - **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**

ALBUQUERQUE, A. T. De. **Dissertação - Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado.** 1999; ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ASSAHI, Paulo Nobuyoshi. Sistema de fôrma para estrutura de concreto. **SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO**, v. 5, 2005.

AZEVEDO, A. P. De; **Resistência e ductilidade das ligações laje-pilar em lajes cogumelo de concreto de alta resistência armado com fibras de aço e armadura transversal de pinos.** 1999; - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

BARROS, M. M. S. B. **Tecnologias construtivas para produção de edifícios no Brasil; perspectivas e desafios.** 2013; ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

BARROS, M. M. S. B. de; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios,** 2006; ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

BARROS, M. M. S. B. de; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios,** 1998; PROJETO EPUSP/SENAI

CARLOS, T. B. **Análise e dimensionamento estrutural de uma laje lisa com protensão não aderente.** 2013; - (MONOGRAFIA DO TÍTULO DE BACHAREL NO CURSO ENGENHARIA CIVIL) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA – UNIPAMPA

CARVALHO, R. C; FILHO, R. De. F. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado 3° Edição.** 2009

CUNHA, A. J. P; SOUZA, V. C. M. (1994). **Lajes em concreto armado e protendido. 1994;** - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

COSTA, C. D; FERREIRA Y. M. **Análise comparativa de laje convencional e laje pré-moldada, 2018;** INSTITUTO ENSINAR BRASIL.

GUARDA, M. C. C. Da. **Dissertação - Cálculo de lajes cogumelo pela teoria das charneiras plásticas, 1995;** ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

IT - 08 - **SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFICAÇÕES**

KRIPKA, M. **Análise estrutural para engenharia civil e arquitetura: estruturas isostáticas. 2 Ed. São Paulo. 2011**

NBR 7480 - **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação**

NBR 15696 - **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto armado - Projeto, Dimensionamento e Procedimentos executivos.**

NETO, A. F. L. **Punção em lajes cogumelo de concreto armado com capitéis. 2012;** - (TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL) - FACULDADE DE TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

OLIVEIRA, A. I. E. **Inovações tecnológicas como fator de competitividade para as empresas de construção civil em Manaus. 2010; DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS.**

PINI - **Manual prático de materiais de construção - Ernesto Ripper**

SALOMÃO, P. E. A, JÚNIOR, H. C, ESPERANÇA, G. B, OLIVEIRA, A. N. C. De. **Análise comparativa: cimbramento metálico x cimbramento de madeira, 2019**

SANVITTO, M. L. A. **Conjunto nacional BNH: registro de um exemplar. 2011; 9º SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL**

SILVA, M. L. Da; TOURINHO, H. L. Z. **O banco nacional de habitação e o programa minha casa minha vida: duas políticas habitacionais e uma mesma lógica locacional.** 2015; ESTUDO DE CASO BELÉM-PA

SILVA, C. E. Da. **Estudo da otimização de vigas de concreto armado com o uso do software Eberick.** 2019; (MONOGRAFIA DO TÍTULO DE BACHAREL NO CURSO ENGENHARIA CIVIL) - CENTRO UNIVERSITÁRIO ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE.

SOUZA, C. G. S; LOPES, R. C. **Monografia - Estudo comparativo entre lajes maciça convencional e laje nervurada.** 2016; UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

SPOHR, V. H. **Análise comparativa: Sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas.** 2008; - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

TRIGO, J. S. **Análise comparativa entre normas para avaliar o efeito de punção em lajes planas de concreto armado.** 2017; (Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS) - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIAS DO PORTO

VALE, P. A. F. **Estudo da punção em lajes lisas - Modelo Teórico e análise em códigos computacionais.** 2018; - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS ESCOLA DE ENGENHARIA

ANEXO

Anexos do trabalho disponível neste hiper [link](#).