

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**FLÁVIA VIEIRA DA SILVA**

**VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES PRÉ-FABRICADAS EM  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E SUAS RESPECTIVAS FLECHAS**

**CARATINGA**

**2018**

**FLÁVIA VIEIRA DA SILVA**

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES PRÉ-FABRICADAS EM  
EDIFICAÇÕES RESIDENCIAS E SUAS RESPECTIVAS FLECHAS**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
das Faculdades Integradas de Caratinga,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Prof. Esp. João Moreira de  
Oliveira Júnior

**CARATINGA**

**2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

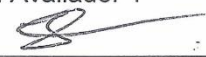
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES PRÉ-FABRICADAS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E SUAS RESPECTIVAS FLECHAS, elaborado pelo(s) aluno(s) FLÁVIA VIEIRA DA SILVA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

Caratinga 12/12/2018

  
\_\_\_\_\_  
JOÃO MOREIRA DE OLIVEIRA JÚNIOR  
Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
RICARDO BOTELHO CAMPOS  
Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
JOSÉ NELSON VIEIRA DA ROCHA  
Prof. Examinador 2

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e forças para superar as dificuldades. Sem Ele, nada disso seria possível. Obrigada Senhor, pelo teu cuidado e amor infinito.

Aos meu pais Lúcia Vigorito Vieira e Pedro Ferreira da Silva, pelo amor e apoio incondicional. Obrigada por terem me apoiado nos momentos mais difíceis, e por terem me ajudado, desde o início do curso, sou eternamente grata.

A minha irmã Letícia Vieira pelo carinho e incentivo de sempre e a minha querida sobrinha Thalita Vieira, por alegrar a minha família.

Ao meu noivo, Fabiano Feliciano pelo carinho, e por me apoiar em todos os momentos, me incentivando a realizar este sonho.

A minha avó Conceição Vigorito, pelas orações, carinho e pelo cuidado de sempre.

As minhas tias e primos, pelo apoio e incentivo.

Ao Eng. Ramon Júber Franco, pelo apoio, por ter me orientado no estágio, repassando seu conhecimento e amizade.

Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante a graduação e foram tão importante na minha vida acadêmica.

Em especial meu orientador e Coordenador do curso João Moreira de Oliveira Junior, pelo apoio, oportunidade, incentivo e empenho dedicado para realização deste trabalho.

A prof.<sup>a</sup> Camila Alves da Silva pela paciência, apoio e confiança.

Ao prof. Sérgio Reis, por ter me incentivado, partilhando seu conhecimento, que foi fundamental para minha formação.

Aos meus queridos amigos em especial, Camila Sabino, Kleber Junior e Rômulo Rafael, companheiros de estudo e irmãos na amizade, que fizeram parte da minha formação.

Obrigada a todos que direta ou indiretamente me apoiaram, incentivaram e torceram por mim. Deus abençoe cada um de vocês.

## RESUMO

Com o emprego das lajes, e a crescente demanda na Construção civil tem-se a necessidade de criar projetos de melhor desempenho, eficiência e segurança. A importância deste trabalho é a elaboração de uma pesquisa relacionada à verificação do dimensionamento de lajes pré-fabricadas em edificações residenciais e suas respectivas flechas, alterando os vãos, a resistência do concreto, a capa e a altura da vigota, apresentando os elementos constituintes, bem como os parâmetros para o dimensionamento, verificando se os esforços solicitantes são compatíveis com as vigotas utilizadas, com a finalidade de mensurar tais variações, concluindo que não obteve-se variações significativas com a alteração da capa de concreto.

**Palavras-chave:** Dimensionamento, lajes pré-fabricadas e flechas.

## **ABSTRACT**

With the use of slabs, and the growing demand in Civil Construction, there is a need to create projects of better performance, efficiency and safety. The importance of this work is the elaboration of a research related to the verification of the design of prefabricated slabs in residential buildings and their respective arrows, altering the spans, the concrete resistance, the cover and the height of the vigota, presenting the constituent elements, as well as the parameters for the sizing, verifying if the requesting efforts are compatible with the beams used, in order to measure such variations, concluding that no significant variations were obtained with the change of the concrete layer.

**Keywords:** Sizing, prefabricated slabs and arrows.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Laje formada por vigotas pré-moldadas .....	15
Figura 2.2: vigota com armadura treliçada (VT) .....	21
Figura 2.3 Tipos de Vigotas Pré-moldadas.....	21
Figura 2.4:Vigota de concreto armado comum (VC) .....	22
Figura 2.5:Blocos Cerâmicos, Vedação.....	23
Figura 2.6Blocos Cerâmicos, Estrutural. ....	24
Figura 2.7: Edificação com laje de isopor .....	24
Figura 2.8: Bloco de EPS - isopor.....	25
Figura 2.9:Seção transversal "T" .....	28
Figura 2.10 Representação da semelhança de triângulos para obtenção das características entre os domínios 2 e 3. ....	30
Figura 2.11: Seção 'T' sem armadura e com armadura .....	32
Figura 2.12: Domínios de estádio-limite último de uma seção transversal. ....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Bitola mínima para o fio de banzo superior de acordo com a altura da treliça .....	18
Quadro 2.2: Diâmetro máximo e mínimo para o aço utilizado em lajes pré-moldadas .....	20
Quadro 2.3 :Tipos de ações .....	26
Quadro 3.1: Planilha para análise de flechas .....	52
Quadro 3.2: Correlação dos resultados .....	53
Quadro 4.1: Flechas infinitas .....	56



## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ht	Altura total
$\phi_{sup}$	Diâmetro da barra superior
Vt	Vigota com armadura treliçada
Vp	Vigota de concreto armado protendido
Vc	Vigota de concreto armado comum
Eps	Isopor. ExpandedPolystyrene
Q	Carga acidental
G1	Carga permanente estrutural que são peso próprio da estrutura
G2	Sobrecarga permanente que são o revestimento do forro e pisos
$b_f$	Largura colaborante
$b_w$	Largura da viga
$f_{ck}$	Resistência característica à compressão do concreto
$A_s$	Área da armadura
$F_s$	Forças atuantes
$f_{yd}$	Tensão
$M_d$	Momento máximo resistente de cálculo
$d_i$	Distância intereixo de cada nervura
$p_w/m^2$	Somatório das cargas acidentais, revestimentos e peso próprio.
$\gamma_f$	Estados-limite últimos
$Y_{cg}$	Centro de gravidade da peça

$\alpha_E$	Parâmetro em função da natureza do agregado que influencia o módulo de elasticidade
$M_{at}$	Momento atuante
$p$	Cargas em cada nervura
$l$	Comprimento máximo de cada vigota
Elu	Estado de limite último
$\varepsilon$	Coefficiente em função do tempo
$r$	Resultado para o fator de correlação
$\beta$	Altura da vigota
M	Metros
Cm	Centímetros
$\alpha_e$	Relação entre os módulos de deformação do aço e do concreto
$I_c$	Momento de inercia da seção bruta de concreto
$Y_t$	Distância do centro de gravidade da seção bruta a fibra mais tracionada
$t_o$	Idade em meses, relativa a data de aplicação de carga de longa duração

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	12
1.2.2 Objetivo específico.....	12
<b>1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 LAJES PRÉ-FABRICADAS .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Composição das lajes semi-pré-fabricadas .....	19
2.1.2 Vigotas.....	20
2.1.3 Blocos.....	22
<b>2.2 AÇÕES E COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTOS .....</b>	<b>25</b>
2.2.1 Ações sobre as estruturas .....	25
2.2.2 Carregamentos decorrentes do uso das edificações .....	26
2.2.3 Combinações de carregamentos .....	27
<b>2.3 ANÁLISE DAS VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS:.....</b>	<b>27</b>
2.3.1 Caracterização da Geometria – Largura colaborante de vigas de seção T.....	27
2.3.1 Cálculo do vão máximo .....	28
2.3.2 Verificação das flechas imediatas e diferidas ao longo do tempo para o estado-limite de serviço considerando o efeito da fluência.....	31
<b>2.4 DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>37</b>
2.4.1 Esforços solicitantes .....	38
2.4.2 Tipos de apoios e distribuição de cargas.....	38
2.4.3 Elementos submetidos à flexão simples.....	39
<b>2.5 RESISTÊNCIA DAS VIGOTAS .....</b>	<b>39</b>
2.5.1 Estados-limites .....	40
2.5.2 Estado Limite-Último .....	40
2.5.3 Estado-Limite de Serviço .....	41
2.5.4 Domínios de Deformação .....	41

2.5.5 Efeito da fluência do concreto – avaliação da flecha diferida no tempo 43

<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 DIMENSIONAMENTO DA LAJE .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 PLANILHA PARA ANÁLISE DE FLECHAS .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3 CORRELAÇÃO DAS FLECHAS INFINITAS .....</b>	<b>52</b>
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 FLECHAS INFINITAS .....</b>	<b>55</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O processo construtivo requer cada vez mais o uso de tecnologias construtivas inovadoras e de melhor desempenho, com isso as estruturas pré-fabricadas se destacam.

De acordo a ABNT NBR 14859-1:2002 define lajes pré-fabricadas como lajes nervuradas compostas por nervuras principais longitudinais armadas em uma direção singular, podendo ser agregadas algumas nervuras transversais perpendiculares às nervuras principais, de acordo com a mesma ABNT NBR 14859-1:2002, define as vigotas pré-fabricadas como estruturas moldadas em locais diferentes de sua instalação, ou mesmo em canteiros de obra sob severas condições de qualidade.

De acordo com a ABNT NBR 9062:2001 uma estrutura feita em concreto pré-moldado é aquela em que os elementos estruturais, como pilares, vigas, lajes e outros, são moldados e adquirem certo grau de resistência, antes do seu posicionamento definitivo na estrutura.

Segundo a ABNT NBR 9062:2001 esses conjuntos de peças pré-moldadas são também conhecidas pelo nome de estrutura pré-fabricada, pois são elementos fabricados industrialmente, mesmo em instalações temporárias, em canteiros de obra.

De acordo com Carvalho e Filho (2014) estas estruturas pré-moldadas na fase de montagem e concretagem, são elementos resistentes e tem habilidade de suportar além do seu peso próprio, as lajotas do concreto da capa e uma carga acidental pequena para um vão de até 1,5m. Segundo os mesmos, uma das principais vantagens deste tipo de laje é que não se gasta fôrma, pois o elemento pré-moldado e as lajotas tem este desempenho, e é necessário pouco escoramento.

A importância deste projeto de verificação do dimensionamento de lajes pré-fabricadas em edificações residenciais, verificando se as variações são significativas.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Objetivo geral deste trabalho é fazer uma verificação do dimensionamento de lajes pré-fabricadas em edificações residenciais e suas respectivas flechas.

### 1.2.2 Objetivo específico

São objetivos específicos do presente trabalho:

- Apresentar os elementos constituintes das lajes pré-fabricadas, bem como os parâmetros para dimensionamento;
- Verificar se os esforços solicitantes são compatíveis com a resistência das vigotas utilizadas.
- Verificar a flecha da laje pré-fabricada, alterando a resistência do concreto, variando os vãos, capa e beta.
- Verificar se há ou não variações significativas.

### 1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho de conclusão de curso em engenharia civil foi dividida em 6 (seis) capítulos, conforme descrito pelos itens a seguir:

- Capítulo 1: Introdução, com a contextualização, o objetivo geral e específico e a organização da dissertação;
- Capítulo 2: Revisão bibliográfica, abordando os temas de lajes pré-fabricadas, vigotas e blocos, ações e combinações de carregamentos e dimensionamento.
- Capítulo 3: Metodologia, técnica: estudo de caso múltiplo (mais de uma edificação)
- Capítulo 4: Estudo de casos;
- Capítulo 5: Resultados e análises;
- Capítulo 6: Conclusões.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Lajes pré-fabricadas

De acordo com Carvalho e Filho (2014) essas lajes pré-fabricadas são desenvolvidas por elementos pré-moldados chamados de vigotas, por lajotas e por uma capa de concreto, moldada no local. Segundo os mesmos, a armadura do elemento tipo trilho é composta de barras retas instalada na parte inferior deste, e comenta em relação ao elemento tipo treliça, sua armadura é uma treliça espacial de aço compostas por três banzos paralelos e diagonais laterais de forma senoidal, que são soldada por método eletrônico aos banzos.

Estes tipos de lajes possuem características que também traz redução na quantidade de escoras utilizadas na etapa de construção da obra, não sendo necessário um grande número de pontaletes e escoras, em função da sua geometria, as lajes formadas por vigotas pré-fabricadas, são consideradas lajes nervuradas, portanto mesmo com certo volume de concreto moldado no local da obra, elas são caracterizadas como elemento estrutural pré-moldadas nervurada (CARVALHO e FILHO, 2014).

A ABNT NBR 6118:2014 define placas como elementos estruturais de superfície plana sujeitas a ações normais ao seu plano. As placas de concreto são usualmente classificadas como lajes.

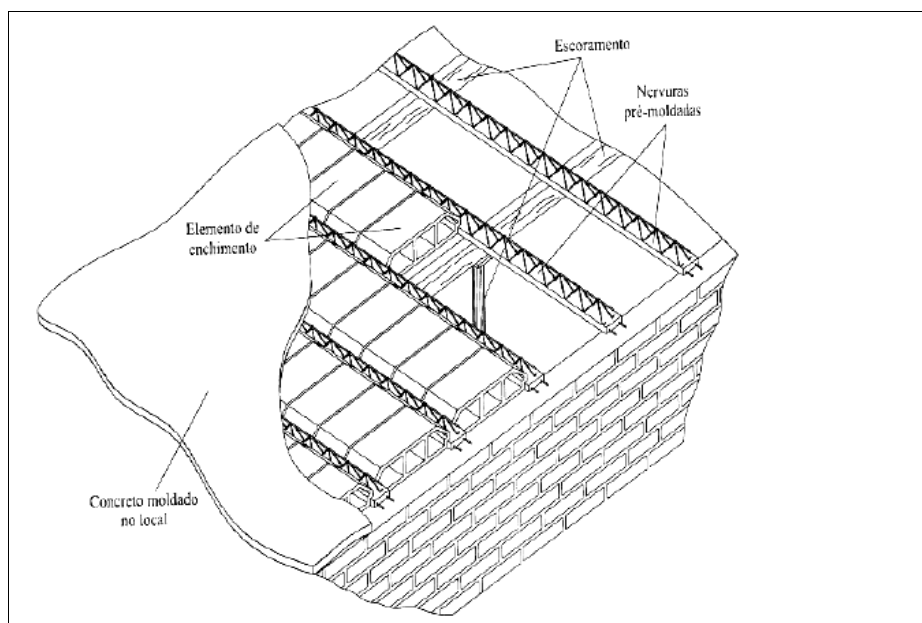
Conforme Carvalho e Filho (2014) as lajes em concreto armado ou protendido podem ser classificadas quanto a sua natureza: pré-fabricadas ou moldadas in loco (maciças e nervuradas). Quanto ao tipo da seção: laje maciça (lisa ou cogumelo), nervurada (pré-fabricada), quanto ao tipo de apoio: contínuas ou em duas direções e em balanço, ou quanto ao tipo de armação: armada em uma direção ou em cruz (ou em duas direções).

Segundo Carvalho e Filho (2014) o uso de fôrmas tradicionais e escoramentos é bem menor quando comparado com as lajes maciças. O emprego de lajes unidirecionais com vigotas pré-moldadas para pequenos e médios vãos é uma solução econômica e racionalizada, mas apresentam um comportamento



essencialmente de viga, perdendo importantes vantagens do comportamento de placa (Figura 2.1).

**Figura 2.1** Laje formada por vigotas pré-moldadas



Fonte: El Debs (2000)

As lajes pré-moldadas podem ser aplicadas em edifícios residenciais, comerciais, pontes, viadutos, fábricas e pequenas habitações. Devido principalmente à facilidade de execução, têm se tornado uma opção bastante viável frente a outras tipologias.

De acordo com Carvalho e Filho (2014) as lajes pré-moldadas são constituídas por vigotas de concreto e blocos, conhecidos também como lajotas ou tabelas. As lajotas e as vigotas montadas de forma intercaladas e unidas com uma manta de concreto, chamada também de capa, formam a laje.

É de fundamental importância, um estudo prudente dos custos que envolvem transportes, dimensões das peças, aquisição de formas, tempo de execução.

As lajes nervuradas segundo a ABNT NBR 6118:2003 são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte, e em relação às lajes maciças comentam que são comuns nas edificações de concreto armado, devido à facilidade de execução e normalmente são em concreto leve, reduzindo o peso e melhorando

as propriedades mecânicas. De modo geral, são utilizadas em construções com cargas moderadas.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2003 as lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte. Os materiais necessários para o enchimento têm função de substituição do concreto, não contribuindo para resistência e o mesmo não é considerado no cálculo para lajes nervuradas. Sendo assim a resistência a tração para momentos positivos é concentrada nas nervuras.

A seguir, os métodos do processo construtivo das lajes pré-moldadas, segundo Carvalho e Filho (2014):

A) Nivelamento e acerto do piso e execução do escoramento necessitarão ser executadas as contra flechas, quando indispensável.

B) Instalação das vigotas, posicionando o material de enchimento como a lajota, nas extremidades como gabarito do espaçamento entre vigotas.

C) Locação das lajotas cerâmicas, blocos de EPS que são elementos de enchimento, caixas de passagem.

D) Colocação das armaduras de distribuição e negativas, caso necessário, conforme bitola, quantidade e posição que deve ser fornecida conforme projetista.

E) Limpeza cautelosa da interface entre as nervuras e o concreto a ser lançado, é necessário umedecer a interface antes da concretagem, sem que, haja acúmulo de água.

F) Concretagem da capa de concreto deve-se adensar o concreto para que ele adentre nas juntas entre as vigotas e os elementos de enchimento. Efetuar boa cura, molhando a superfície pelo menos três dias após a concretagem.

G) Após quinze dias do lançamento do concreto, deve-se fazer a retirada do escoramento, o escoramento do piso inferior nos edifícios de múltiplos pavimentos, não deve ser retirado antes do término da laje imediatamente superior.

Na data da retirada, deve-se verificar a resistência do concreto.

Laje é o elemento estrutural da edificação responsável por transmitir as cargas que nela atuam para as vigas de sustentação e destas para os pilares ou diretamente para os pilares em lajes do tipo fungiformes. São elementos estruturais bidimensionais, com espessura muito menor do que as outras duas dimensões e o carregamento que nelas atuam são perpendiculares ao seu plano médio (BRUMATTI, 2008).

As lajes pré-moldadas foram desenvolvidas com o objetivo de vencer grandes vãos com a menor altura possível, de forma rápida e sem a necessidade de escoras e formas. As lajes pré-moldadas a base de concreto armado são de dois tipos: lajes completamente pré-fabricadas, onde todo o elemento estrutural é confeccionado na indústria e colocado, posteriormente, e lajes semi-pré-fabricadas, nas quais o elemento resistente a tração é executado em fábricas e o concreto, que irá resistir a compressão, é lançado no próprio local (BRUMATTI, 2008).

As lajes semi-pré-fabricadas são constituídas por vigas ou vigotas de concreto e blocos, conhecidos como lajotas ou tabelas, montadas de modo intercalado formando a laje, unindo este conjunto há uma camada de concreto, chamada de capa, lançada sobre as peças. Elas podem ser: convencional (vigota T); treliçada e painel treliçado(LUIZ, 2013).

A laje vigota de concreto ou laje convencional possui trilho maciço com seção transversal do tipo “T” invertido com base de 8 cm o que diminui o intereixo da laje, sua armadura longitudinal é formada por barras de aço carbono dispostas longitudinalmente, duas na base e uma no topo, utilizam material de enchimento (cerâmica ou EPS), porém as vigotas são mais robustas e pesadas. Já as do tipo nervuradatreliçada são compostas por uma estrutura espacial com vigas e elementos de enchimento que podem ser cerâmicas, EPS (isopor), concreto, concreto celular e outros (LUIZ, 2013).

O sistema treliçado é constituído por vigotas de concreto armado com base nominal de 3x12 cm em concreto que sustenta uma treliça metálica constituída por barras de aço carbono, sendo duas barras no banzo inferior, uma barra no banzo superior e duas transversais dispostas diagonalmente (NBT,14859-2 2002a,b). A altura da treliça pode variar entre 7 cm e 25cm, o passo do sinusóide normalmente é de 20 cm e a distância entre as duas barras do banzo inferior é de 8 cm (FLÓRIO, 2004). O que determina o carregamento que ele é capaz de suportar e suas aplicações

são as bitolas, as dimensões da armadura, o material de enchimento, a armadura adicional e o espaçamento das vigotas. A capa de concreto que é lançada após a montagem da laje envolve totalmente a treliça favorece a aderência, evitando assim, o aparecimento de trincas na laje (ABNT NBR 14859-2, b; BRUMATTI, 2008).

A laje painel treliçada também é constituída de vigas de concreto armado que sustentam uma treliça metálica, porém possui uma maior base nominal da vigota, formando nervuras mais robustas e permitindo maior capacidade de suporte por aumento da armadura positiva (LUIZ, 2013).

As treliças podem ser designadas pelo código TR e por uma numeração que representam na seguinte ordem: a altura (de um a dois dígitos), a bitola (em mm) do banzo superior, sinusóide e inferior. Para garantir mínima rigidez à treliça, a NBR 14862:2002 determina a menor bitola para o fio do banzo superior de acordo com a altura da treliça que pode ser visualizada no Quadro 2.1.(FLÓRIO, 2004).

**Quadro 2.1** Bitola mínima para o fio de banzo superior de acordo com a altura da treliça

HT (altura total)	$\phi_{sup}$ (diâmetro da barra superior)
8,0 a 11,0 cm	6,0 mm
12,0 a 20,0 cm	7,0 mm
21,0 a 30,0 cm	8,0 mm

Fonte: ABNT NBR 14862:2002

Em resumo, a diferença entre as vigotas está na armadura. A vigota tipo trilho é composta por barra de aço retas dispostas na parte inferior das mesmas, já a do tipo treliçada tem uma armadura espacial de aço, composta por três banzos paralelos e diagonais laterais na forma de senóides, soldadas aos banzos (KATAOKA, 2005).

As lajes nervuradas possuem como vantagens a oferta pelo mercado de uma série de alternativas para execução de lajes pré-moldadas; os elementos pré-moldados empregados na laje nervurada tem boa capacidade portante no momento

da moldagem do restante da laje, reduzindo assim a quantidade de fôrmas e escoramentos em relação ao sistema convencional e apresentam redução do volume de concreto e armaduras quando as lajes treliçadas são executadas de forma nervurada (BRUMATTI, 2008).

Como desvantagens, a execução da laje nervurada exige grande atenção, pois pode apresentar trincas depois de pronta em razão da falta de aderência da capa de concreto; tem baixa produtividade e a utilização intensiva de mão-de-obra quando executada sem os elementos pré-fabricados; tempo longo para execução da armação e dificuldade de concretagem (BRUMATTI, 2008).

### 2.1.1 Composição das lajes semi-pré-fabricadas

O concreto é um material composto por água, cimento e agregados. Para que ele seja utilizado na fabricação das lajes, como componente das vigotas e do concreto moldado no local. De acordo com a NBR 14859-1:2002a, deve atender as especificações das ANBT NBR 6118:2014, ABNT NBR 8953:2015, ABNT NBR 12654:1992 e ABNT NBR 12655:2006.

A principal característica do concreto é sua resistência à compressão. Vários fatores interferem neste quesito, destacando-se a idade e a relação água, cimento e agregados (SANTINE, 2006). De acordo com a ABNT NBR 6118:14, a resistência mínima exigida é de 20 MPa para a idade de 28 dias.

O concreto resiste mal à tração, mas esta característica deve ser avaliada, pois pode estar relacionada com a capacidade resistente da peça ao esforço cortante e a fissuração, por exemplo. Quando não estão disponíveis equipamentos para realizar um dos ensaios para obter a resistência à tração, a ABNT NBR 6118:2014 prevê o seu cálculo a partir do valor obtido de resistência à compressão (CARVALHO e FILHO, 2014).

Outro material empregado na fabricação das lajes pré-moldadas é o aço. Existem vários tipos de aço no mercado brasileiro, porém, de acordo com a ABNT NBR 7480:1996, apenas as categorias CA 25, CA 50 e CA 60 são indicados para a confecção de armaduras de concreto armado.

De acordo com a ABNT NBR 14860-1:2002c para fins de utilização e lajes pré-moldadas, o aço deve atender as especificações descritas no Quadro 2.2.

**Quadro 2.2:** Diâmetro máximo e mínimo para o aço utilizado em lajes pré-moldadas

Produto	Norma	Diâmetro Nominal	
		Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Barras/Fios de aço	NBR 7480	6,3 (CA 50) 4,2 (CA 60)	20,0 (CA 50) 10,0 (CA 60)
Tela de aço eletrossoldada	NBR 7481	3,4	
Fios de aço para protensão	NBR 7482	3,0	
Cordoalhas de aço para protensão	NBR 7483	3 x 3,0	
Armadura treliçada eletrossoldada	NBR 14862	Diagonal (sinusóide): 3,4 Banzo superior: 6,0 Banzo inferior: 4,2	Diagonal (sinusóide): 7,0 Banzo superior: 12,5 Banzo inferior: 12,5

Fonte: ABNT NBR 14860-1:2002

### 2.1.2 Vigotas

Segundo Carvalho e Filho (2014), as vigotas são elementos pré-moldados que compõem a laje pré-moldada uma pequena viga, casualmente presente em lajes, podendo ser tanto de concreto armado como de madeira. Essas lajes pré-moldadas são usadas pra aguentar somente pequenos e médios vãos.

Ainda segundo Carvalho e Filho (2014), as lajes pré-fabricadas são feitas fora do local onde serão usadas.

O concreto de fck igual a 45 MPa, geral utilizado no seu fabrico e as armaduras que também são caracterizadas por parâmetros regra geral, idênticos, sendo apenas de referir ligeiras diferenças, que não interessam aos resultados finais e que se prendem apenas com os caminhos diferentes que os aços tomam a partir da sua saída da Siderurgia Nacional, até ao cliente final, pode ver a semelhança da forma, onde também podemos ter algumas diferenças importantes, a semelhança quanto à constituição das secções, as quais susceptíveis de uma maior variação no que diz respeito ao diâmetro ou no número dos fios de aço de pré-esforço utilizados.

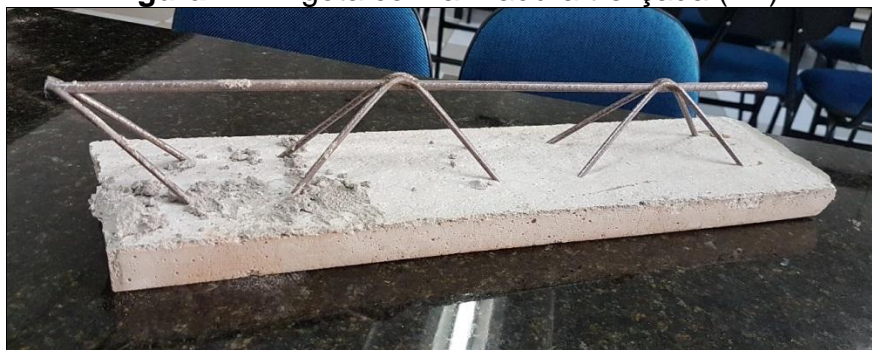
De qualquer forma, as pequenas variações destas secções, quer no que respeita as dimensões quer no que respeita as armaduras, podem ser responsáveis por substanciais diferenças dos valores definidos das características resistentes,

constatando-se este aspecto quando tratamos estados limites. Apreçar os resultados, ver as diferenças resultantes, ver o quanto pequenos aspectos podem ou não ser importantes e por tal serem considerados nos estudos a realizar.

Segundo Carvalho e Filho (2014), existem três tipos de vigotas que se utilizam para montagens de lajes pré-moldadas: vigotas tipo treliça (VT), vigotas de concreto protendido e vigotas de concreto armado.

As vigotas com armaduras treliçadas são formadas por uma base de concreto que envolve parcial ou totalmente a armadura. Tais treliças são padronizadas segundo a ABNT NBR 14862:2002 e nomeadas em função da altura e da bitola as quais são fabricadas. A base ou placa de concreto pode variar sua altura e o concreto utilizado deve ter no mínimo um resistência à compressão de 20MPa, quanto à armadura treliçada, esta é mais comum fabricada com aço CA-60 e comprimentos padronizados. Há ainda a possibilidade de complementação com uma armadura passiva como adicional (Figura 2.2).

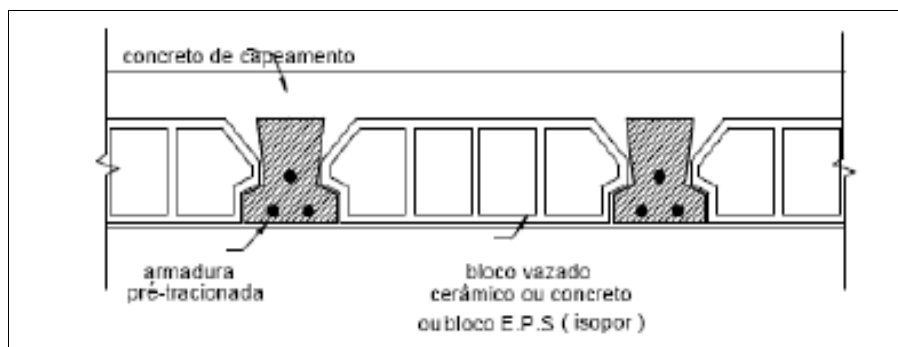
**Figura 2.2:** vigota com armadura treliçada (VT)



Fonte: A autora (2018)

As vigotas de concreto protendido tem seção “T” invertido, com armadura pré-dimensionada e totalmente envolvida no concreto, utilizadas em lajes de concreto protendido (LP). São fabricadas pelo processo de protensão, este consiste em tracionar as armaduras antes do lançamento do concreto. Tem capacidade de vencer vãos maiores e maior resistência ao cisalhamento e menores deformações como vantagens em relação as vigotas de concreto armado (VC) (Figura 2.3).

**Figura 2.3** Tipos de Vigotas Pré-moldadas



Fonte: Droppa (1999)

Segundo Carvalho e Filho (2014), as vigotas de concreto armado (VC) são vigotas com seções geralmente no formato “T” invertido, com armadura totalmente envolvida no concreto.

Segundo a ABNT NBR 6118/2014 as vigotas de concreto armado podem ser fabricadas com armaduras de aço CA-60 e concreto não sendo inferior a 20MPa.

As lajes usando vigotas de concreto armado (VC) podem apresentar diversas limitações, entre elas não podendo vencer grandes vãos e grandes cargas acidentais, sendo empregadas geralmente em construções residenciais, onde não haja predominância de cargas concentradas ou dinâmicas. Os painéis de lajes montadas com vigotas de concreto armado não permitem que as mesmas sejam bidirecionais (Figura 2.4).

**Figura 2.4:** Vigota de concreto armado comum (VC)

Fonte: Droppa (1999)



Fonte: Droppa (1999)

### 2.1.3 Blocos



São utilizados elementos de enchimento, que não são estruturais, mas de material de boa qualidade para garantir maior segurança no momento de montagem e moldagem da laje. De acordo com a ABNT NBR 14859-1: 2002a estes elementos são componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos, maciços ou vazados, intercalados entre as vigotas com objetivo de reduzir o volume de concreto e o peso da laje e servir como forma para o concreto complementar. Além disso, os elementos de enchimento determinam a geometria da laje, altura (H) e intereixo (l) e interferem na deformação devido à fluência (SANTINE, 2006).

Blocos cerâmicos podem ter a função de sustentação da construção, ou seja, função estrutural de forma que o peso seja distribuído além de colunas, também nos blocos, ou em função de vedação, para cobrir os vãos, como paredes. Apresentam boas características referentes à resistência à compressão, isolamento térmico e acústico, bom índice de absorção, precisão dimensional e por ser flexível em relação à estética da edificação (Figura 2.5 e 2.6).

**Figura 2.5:** Bloco Cerâmico, Vedação.



Fonte: A autora (2018)

**Figura 2.6** Blocos Cerâmicos, Estrutural.



Fonte: Equipe de obra, Julho (2011)

De acordo com a ABNT NBR 6136 2014, bloco de concreto pode ser definido como sendo um elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. Tem função na alvenaria estrutural, que se pode definir como sendo um sistema de paredes feitas de blocos de concreto, que além de terem a função de vedação da edificação têm também a função estrutural de suportar os pesos e cargas da respectiva parede, contribuindo também para a suavização referente ao peso próprio das lajes pré-fabricadas (Figura 2.7).

**Figura 2.7:** Edificação com laje de isopor



Fonte: A autora (2018)

Blocos EPS ou Poliestireno Expandido (EPS – Expanded Polystyrene) (Figura 2.8) trata-se de uma matéria do grupo termoplástico, que tem como características principais sua fácil flexibilidade quando em ação do calor. Na construção civil apresenta bom custo-benefício devido seu baixo peso permite fácil manuseio e montagem, oferece diversas possibilidades de aplicações.

Os blocos de EPS têm bom isolamento térmico, baixa condutividade térmica e o isolamento de fundações, sua combustão não libera produtos tóxicos e tem boa resistência à compressão.

**Figura 2.8:** Bloco de EPS - isopor



Fonte: A autora (2018)

## **2.2 Ações e combinações de carregamentos**

### **2.2.1 Ações sobre as estruturas**

De acordo com a ABNT NBR 8681:2004 ações são as causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas, as forças e as deformações causadas pelas ações são avaliadas como se fossem as próprias ações. Um elemento solicitado por esforços, decorrentes das ações, está sujeito a tensões e deformações. As deformações atribuídas são denominadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

De acordo com Carvalho e Filho (2014) quando se escolhe a altura e armadura de uma laje, é necessário, conhecer as ações que atuam sobre a estrutura, e as ações verticais que atuam sobre as estruturas de uma laje são as seguintes:

- q - carga acidental
- g1- carga permanente estrutural que são peso próprio da estrutura
- g2- sobrecarga permanente que são o revestimento do forro e pisos.
- 

**Quadro 2.3** :Tipos de ações

Ações permanentes: são as cargas que ficam aplicadas na maioria da vida útil da estrutura. Exemplo: peso próprio da estrutura.
Ações variáveis: são cargas que variam durante a vida útil da estrutura. Exemplo: efeito do vento.
Ações excepcionais: São cargas que ficam por muito pouco tempo na estrutura ou que talvez nem chega a ser aplicada. Exemplo: explosões, choque de veículos
Cargas acidentais: São as ações variáveis que agem nas construções em desempenho de seu uso. Exemplo: pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.

Fonte: ABNT NBR 8681:2004

### 2.2.2 Carregamentos decorrentes do uso das edificações

Durante o período de vida da construção, podem ocorrer os seguintes tipos de carregamento, segundo a ABNT NBR 8681:2004 carregamento normal, carregamento especial e carregamento excepcional, e alguns casos referentes a carregamentos:

- Carregamento normal: O carregamento normal decorre do uso previsto para construção.
- Carregamento especial: Um carregamento especial decorre da atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especiais, cujos efeitos superam em intensidade os efeitos produzidos pelas ações consideradas no carregamento normal. Os carregamentos especiais são transitórios, com duração muito pequena em relação ao período de referência da estrutura.

- Carregamentos excepcionais: Um carregamento excepcional decorre da atuação de ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos. O carregamento excepcional é transitório, com duração extremamente curta.
- Carregamento de construção: É acatado nas estruturas em que haja risco de ocorrência de estados limites, já durante a fase de construção. O carregamento de construção é breve e sua duração deve ser definida em cada caso particular. Devem ser analisadas combinações de ações quantas sejam necessárias para verificação das condições de segurança de acordo com os estados limites que são de se reçar na fase de construção.

### 2.2.3 Combinações de carregamentos

De acordo com a ABNT NBR 8681:2004 algumas combinações de carregamentos a seguir:

- Combinações de utilização das ações são combinações permanentes, incluindo as deformações impostas permanentes.
- Combinações quase permanentes de serviços são todas as ações variáveis
- Combinações frequentes de serviço, a ação variável principal é levada em conta com seu valor frequente e as outras ações são tomadas com seus valores quase permanentes.
- Combinações raras de serviços a ação variável principal é levada em conta com seu valor característico e as outras ações são tomadas com seus valores frequentes

## 2.3 Análise das Vigotas pré-moldadas:

### 2.3.1 Caracterização da Geometria – Largura colaborante de vigas de seção T.

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014) largura colaborante  $b_f$  será dada pela largura da viga  $b_w$  acrescida de no máximo 10% da distância “a” entre pontos de momento fletor nulo, para cada lado da viga em que tenha laje colaborante. A distância

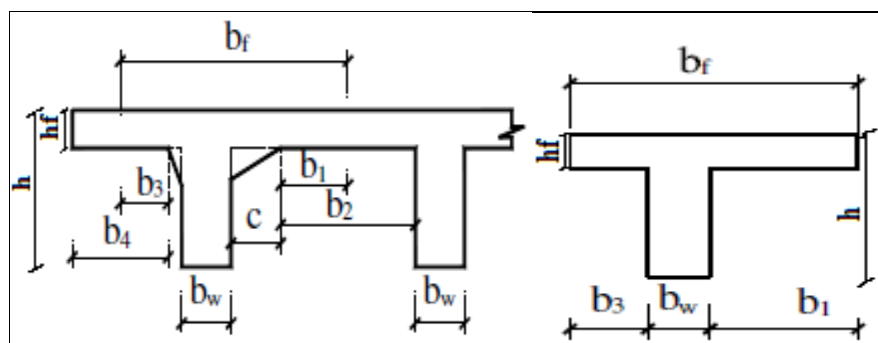
será estimada, em função do comprimento do tramo considerado, como se apresenta a seguir (NBR 6118, 2014):

- viga simplesmente apoiada
- tramo com momento em uma só extremidade:  $a = 0,75$
- tramo com momentos nas duas extremidades:  $a = 0,60$
- tramo em balanço:  $a = 2,00$

Deverão ser respeitados os limites de  $b_1$  e  $b_3$  conforme descrito abaixo:

$$b_1 \leq \begin{bmatrix} 0,5 \cdot b_2 \\ 0,10 \cdot a \end{bmatrix} \quad b_3 \leq \begin{bmatrix} b_4 \\ 0,10 \cdot a \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

**Figura 2.9:** Seção transversal "T"



Fonte: A autora (2018)

### 2.3.1 Cálculo do vão máximo

Considerando apenas o estado limite-último para carga total atuante (carga acidental e revestimentos obtidos a partir da ABNT NBR 6120:1980), peso próprio calculado de acordo com os tipos de elementos de enchimento, lajotas cerâmicas ou isopor (EPS) e as características da armadura, será determinado o maior vão que as nervuras da laje pré-moldada podem ser utilizadas (ABNT NBR 6118, 2014).

- a) Determinação da posição ( $X$ ) da linha neutra

Para tal será considerado a resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) obtido através do ensaio de compressão do concreto, a tensão ( $f_{yd}$ ) e a área da armadura ( $A_s$ ) (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).

Para verificar a geometria da seção transversal, será admitido inicialmente que a linha neutra (‘‘x’’) passa pela mesa, portanto considerada retangular. As forças atuantes na seção transversal ( $F_s$ ) na armadura tracionada serão obtidas utilizando a equação (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014):

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} \quad (2.2)$$

No concreto comprimido, a resistência a compressão será calculada através da equação abaixo, considerando a largura colaborante da mesa de uma viga ( $b_f$ ) e a tensão na seção solicitada pelo momento de cálculo (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).

$$F_c = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot 0,8 \cdot x \cdot b_f \quad (2.3)$$

Onde  $f_{cd}$  é a resistência característica do concreto de cálculo, dado pela equação  $\frac{f_{ck}}{1,4}$ .

A força na armadura tracionada deve ser igual a força no concreto comprimido, caracterizando um equilíbrio. Através deste equilíbrio será obtido o valor de ‘‘x’’ (m), ou seja, a posição da linha neutra (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).

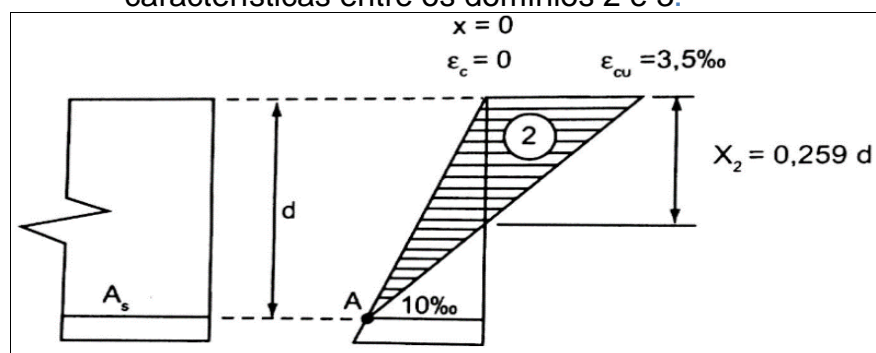
$$F_s = F_c \quad (2.4)$$

- a) Verificação do domínio em que a seção está trabalhando e a tensão na armadura, através da análise da posição da linha neutra.

Para esta verificação será necessário obter a altura útil da vigota, que é a distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).

Por semelhança de triângulo obtemos as características do limite entre os domínios 2 e 3 retirados da Figura 2.10 de domínios de deformação no estado-limite último em relação a seção transversal (Figura 2.9), analisando em qual domínio a peça trabalhará de acordo com a posição da linha neutra ( $x$ ) (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO; FILHO, 2014).

**Figura 2.10** Representação da semelhança de triângulos para obtenção das características entre os domínios 2 e 3.



Fonte: Carvalho e Filho (2014)

Semelhança de triângulos:

$$\frac{0,0035}{x_2} = \frac{0,01}{d - x_2}$$

$$0,01 \cdot x_2 = 0,0035 \cdot (d - x_2) \quad (2.5)$$

$$x_2 = 0,259 \cdot d$$

(Conforme representado na Figura 2.10).

a) Verificação do máximo momento resistente de cálculo ( $M_d$ ).

Será obtido através da multiplicação da força pelo braço de alavanca  $z$ . (Distância perpendicular entre a força e o ponto de cálculo do momento) (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).



$$M_{d=F_c.z} \text{ ou } M_{d=F_s.z} \quad (2.6)$$

b) Cálculo do vão máximo possível de uma nervura (apoiada nas extremidades).

Será calculada a carga atuante por nervura, através da equação 2.7 (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014):

$$p = p_w/m^2 \cdot d_i \quad (2.7)$$

Sendo  $d_i$  a distância entre eixos de cada nervura e  $p_w/m^2$  o somatório das cargas acidentais, revestimentos e peso próprio.

A seguir será igualado o momento máximo resistente (M) com o atuante em cada nervura para se obter o vão ( $l$ ), para isso, o momento resistente máximo de cálculo será convertido a momento resistente dividindo seu valor pelo coeficiente de ponderação para os estados-limite últimos ( $\gamma_f$ ), que neste caso será igual a 1,4 (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014):

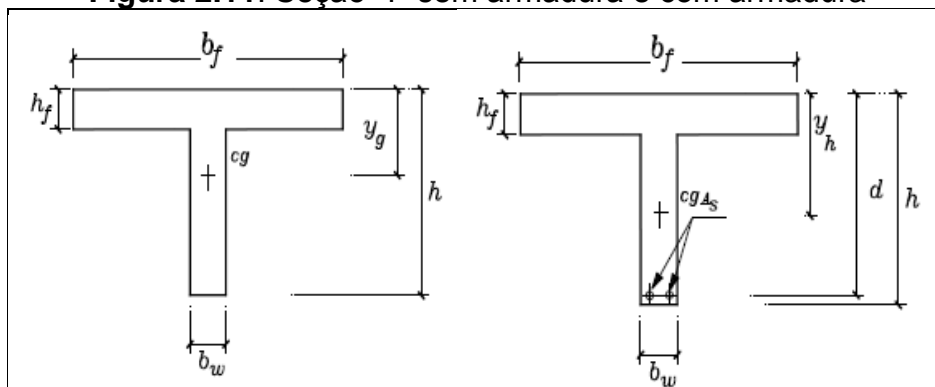
$$\frac{M_d}{\gamma_f} = \frac{p \cdot l^2}{8} \quad (2.8)$$

2.3.2 Verificação das flechas imediatas e diferidas ao longo do tempo para o estado-limite de serviço considerando o efeito da fluência.

Com o objetivo de verificar o estado de deformação excessiva das lajes, será calculado as flechas imediatas com a retirada do escoramento com uma margem de tempo usualmente da região de duas semanas e, ainda, a verificação das flechas para diversas combinações considerando as combinações devido as cargas permanentes, quase permanentes e combinações raras, com intuito de atender os limites normativos

para aceitabilidade sensorial e atender o limite do fenômeno de fluência ) (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).

**Figura 2.11:** Seção 'T' sem armadura e com armadura



Fonte: A autora (2018)

- a) Centro de gravidade da peça ( $Y_{cg}$ ) com características geométricas da seção bruta desconsiderando a armadura no estágio I.

$$Y_{cg} = \frac{(b_f \cdot h_f \cdot \frac{h_f}{2}) + (b_w \cdot (h - h_f)) \cdot (h_f + \frac{(h - h_f)}{2})}{A_g} \quad (2.9)$$

- b) Cálculo do momento de inércia à flexão no estágio I.

$$I_g = \frac{b_f \cdot h_f^3}{12} + \frac{b_w \cdot (h - h_f)^3}{12} + b_f \cdot h_f \cdot \left(y_{cg} - \frac{h_f}{2}\right)^2 + b_w \cdot (h - h_f) \cdot \left(h_f + \frac{(h - h_f)}{2} - y_{cg}\right)^2 \quad (2.10)$$

- c) Cálculo das características da seção no estágio II puro (desprezando a resistência a tração do concreto).

- Modulo de elasticidade inicial pode ser estimado pelas expressões a seguir:

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5.600 \sqrt{f_{ck}} \quad (2.11)$$

(para  $f_{ck}$  de 20MPa a 50MPa).

$\alpha_E$  = parâmetro em função da natureza do agregado que influencia o módulo de elasticidade, que para a região estudada,  $\alpha_E = 1$ , pois o agregado utilizado é do tipo gnaisse.

- Cálculo do fator de correção para o módulo de elasticidade secante do concreto ( $\alpha_i$ ).

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1 \quad (2.12)$$

- Cálculo do módulo de elasticidade secante do concreto ( $E_{cs}$ )

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (2.13)$$

- Relação entre os módulos de deformação do aço e do concreto ( $\alpha_e$ )

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}} \quad (2.14)$$

- Cálculo da posição da linha neutra no estágio II puro, considerando inicialmente, a linha neutra passando na mesa, ( $x_{ii} < h_f$ , seção *retangular*) e  $b_w = b_f$ .

Sendo neste caso em situações em que a viga tem seção retangular e não há armadura negativa ( $A'_s = 0$ ).

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{b_w}{2} = \frac{b_f}{2} \\
 a_2 &= \alpha_e \cdot A_s \\
 a_3 &= -d \cdot \alpha_e \cdot A_s \\
 x_{ii} &= \frac{-a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1}
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

- Cálculo do momento de inércia no estágio II puro:

$$I_{x,II0} = \frac{b_f \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ii})^2
 \tag{2.16}$$

- a) Cálculo do momento de fissuração ( $M_r$ ), para seção 'T'.

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct,m} \cdot I_g}{y_t}
 \tag{2.17}$$

Onde:

$\alpha = 1,2$  para seções em forma de 'T' ou duplo 'T'.

$y_t$  = Distância do centro de gravidade à fibra mais tracionada.

- b) Cálculo do momento atuante, considerando vigotas biapoiadas.

$$M_{at} = \frac{p \cdot l^2}{8}
 \tag{2.18}$$

Sendo 'p' as cargas em cada nervura e 'l' o comprimento máximo de cada vigota calculado para o estado limite último (ELU).

- c) Cálculo da inércia média de Branson.

$$I_m = \left(\frac{M_r}{M_{at}}\right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_{at}}\right)^3\right] \cdot I_{x,II0} \quad (2.19)$$

d) Cálculo das flechas para diversas combinações.

$$a = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot E_{cs} \cdot I_m} \quad (2.20)$$

Sendo  $a$  representando a flecha

e) Análise das combinações.

$$\text{Permanentes: } p_1 = (g1 + g2) \cdot d_i$$

Sendo  $b$  'g1' peso próprio da laje e 'g2' sobrecarga permanente.

$$\text{Quase permanente: } p_2 = (g1 + g2 + 0,3q) \cdot d_i$$

Sendo 'q' a carga acidental.

$$\text{Rara: } p_3 = (g1 + g2 + q) \cdot d_i$$

f) Verificação do limite das flechas para aceitabilidade sensorial e flecha total no tempo infinito.

$$\text{Para a carga acidental: } \frac{l}{350}$$

$$\text{Para a totalidade de cargas: } \frac{l}{250}$$

A flecha devido a carga acidental é dada pela diferença entre a carga total, considerando combinação rara, e a carga permanente, e de acordo com a limitação para a carga acidental será verificado se a flecha atende aos parâmetros de limitação) (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).

Serão representados em tabelas os resultados de inércia média e flechas para diversas combinações.

g) Determinação do efeito da fluência.

Para a determinação do efeito da fluência serão considerados a combinação quase permanente e o tempo do início da aplicação de carga

de longa duração em 14 dias (ABNT NBR 6118, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014).

$$t_0 = \frac{14 \text{ dias}}{30 \text{ dias}} = 0,47 \quad (2.21)$$

Portanto  $t_0$  será considerado para 0,47 meses.

Os coeficientes função do tempo ( $\xi$ ) para as idades  $t_0 = 0,47$  e para o tempo infinito são:

$$\xi(t_0) = 0,68 \cdot 0,996^t \cdot t^{0,32} = 0,68 \cdot 0,966^{0,47} \cdot 0,47^{0,32} = 0,53 \quad (2.22)$$

$$\xi(\infty) = 2 \text{ (valor fixo para idade maior que 70 meses)}$$

De acordo com a ABNT NBR 6116: 2014, a flecha adicional deferida de viga, decorrente de cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada pela multiplicação da flecha imediata por um fator  $\alpha_f$ , expresso por (CARVALHO e FILHO, 2014):

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + \rho'} \quad (2.23)$$

$$\text{Em que: } \rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} f$$

Como não há armadura comprimida,  $A'_s = 0$ ,  $r' = 0$ , resultando para o fator  $\alpha_f$ :

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + \rho'}$$

$$\text{Em que: } \rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} f \quad (2.24)$$

$$\alpha_f = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

De posse destas informações, o valor da flecha total no tempo infinito será a flecha ocorrida em razão da carga obtida pela combinação quase permanente ( $a_{p2}$ ) multiplicada por  $(1 + \alpha_f)$ , conforme a equação 2.25 (ABNT NBR 6116, 2014; CARVALHO e FILHO, 2014):

$$a_{total,\infty} = a_{p2} \cdot (1 + 1,47) = 2,47 a_{p2} \quad (2.25)$$

Será considerado também a possibilidade de contraflecha, calculada pela equação:

$$a_{cf} = -\frac{l}{350}$$

Logo:

(2.26)

$$a_{total,\infty} = 2,47 a_{p2} - a_{cf}$$

O valor obtido será comparado ao limite das flechas para aceitabilidade sensorial e flecha total no tempo infinito, que deverá ser menor que  $\frac{l}{250}$  para que a condição de deformação seja atendida (CARVALHO e FILHO, 2014).

## 2.4 Dimensionamento

O cálculo e o dimensionamento das lajes (vãos, cargas, nervuras, alturas, armaduras e materiais de enchimento) devem ser elaborados de acordo com as normas: ABNT NBR 6120:1980, ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 9062:2017 e projetos da obra (ABNT NBR 14859-1, 2002a).

Para isto necessário conhecer a finalidade da construção, se residencial ou comercial, pois cada tipo determinará um grau de exigência da estrutura (CARVALHO e FILHO, 2014).

A ABNT NBR 6120:1980 fixa as condições exigíveis para determinação dos valores destas cargas, classificando-as em permanentes (o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes) e acidentais (atua sobre a estrutura em função do seu uso, como pessoas, móveis, veículos e outros).

#### 2.4.1 Esforços solicitantes

Ao se dimensionar uma laje é essencial observar os esforços internos da laje, especialmente os momentos positivos e negativos ao qual a estrutura está submetida.

#### 2.4.2 Tipos de apoios e distribuição de cargas

De acordo com a ABNT NBR 14860-1:2002 as cargas (ações) são: Ações especificadas por sua intensidade, natureza e localização sobre a laje, a seguir algumas definições de cargas:

Segundo a mesma ABNT NBR 14860-1:2002 a definição de carga permanente de peso próprio: Somatória do peso dos componentes pré-fabricados como, pré-lajes e elementos de enchimento e dos materiais complementares tais como armaduras adicionais e concreto complementar, e cargas permanentes adicionais: Cargas decorrentes de alvenarias, revestimentos, contra pisos e outras que serão parte integrante da carga da laje.

Carga acidental: Carga distribuída ou concentrada sobre a laje, conforme definido na ABNT NBR 6120:2014 ou outras normas específicas aplicáveis à utilização da estrutura, e carga adicional total: Somatória das cargas acidentais e permanentes adicionais. Não se inclui neste valor, para efeito de especificação, o peso próprio da



laje e carga de trabalho: Cargas incidentes sobre a laje durante a fase de montagem, até que o concreto complementar alcance a resistência definida pelo projeto estrutural.

### 2.4.3 Elementos submetidos à flexão simples

De acordo com Carvalho e Filho (2014) a flexão nos elementos estruturais é causada pelo momento fletor, e nas seções transversais desses elementos surgem tensões normais, que são perpendiculares à seção. Há vários tipos de flexão, e é necessário identificar o tipo, para que seja possível calcular elementos estruturais. Segundo os autores, a flexão simples é quando não existe esforço normal sobre a seção, a flexão simples pode ser normal ou oblíqua.

Carvalho e Filho (2014) exibem flexão normal como, quando o plano de carregamento é perpendicular à linha neutra, sabendo que a linha neutra é quando em que a tensão é nula, da linha da seção transversal e flexão oblíqua é quando o momento fletor tiver um componente normal ao plano de simetria, mesmo que a seção não seja simétrica pela suas armaduras ou por sua forma, ou também quando o plano de carregamento não for normal a linha neutra.

## 2.5 Resistência das vigotas

De acordo com a ABNT NBR 14859-1:2002 a resistência é a capacidade da matéria de suportar as tensões, é necessário adotar-se como tolerância dimensional, em média 50 mm, relacionado para todos os tipos de vigotas.

As vigotas pré-fabricadas, são feitas de concreto estrutural, feitas industrialmente, fora da área de uso final, sob rigorosas condições de controle e qualidade. Englobam total ou parcial a armadura inferior de tração. Ainda através da ABNT NBR 14859-1 existem três tipos de vigotas, que são: concreto armado (VC), de concreto protendido (VP) e treliçadas(VT).( ABNT NBR 14859-1, 2002)

### 2.5.1 Estados-limites

O dimensionamento de uma estrutura tem como objetivo garantir que ela suporte com segurança todas as solicitações a que será submetida durante a execução e utilização.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, na análise estrutural devem ser consideradas todas as ações que atuam sobre a estrutura para garantir sua segurança, levando-se em consideração os estados-limites últimos e os de serviço.

### 2.5.2 Estado Limite-Último

O estado limite-último está relacionado ao colapso ou qualquer forma de ruína estrutural que impeça a utilização, total ou parcialmente, da estrutura. De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, a verificação da segurança da estrutura deve ser feita em relação aos seguintes estados-limites últimos (CARVALHO e FILHO, 2014):

a) estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;

b) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica definida, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais;

c) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;

d) estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas;

e) estado-limite último de colapso progressivo;

f) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200:2004;

g) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421:2006;

h) outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

### 2.5.3 Estado-Limite de Serviço

Os estados-limites de serviço se relacionam ao conforto do usuário, à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, para atender aos usuários, às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas.

- a) Estado-limite de formação de fissura;
- b) Estado-limite de abertura de fissura;
- c) Estado-limite de deformações excessivas;
- d) Estado-limite de descompressão;
- e) Estado-limite de descompressão parcial;
- f) Estado-limite de compressão excessiva;
- g) Estado-limite de vibração excessiva.

### 2.5.4 Domínios de Deformação

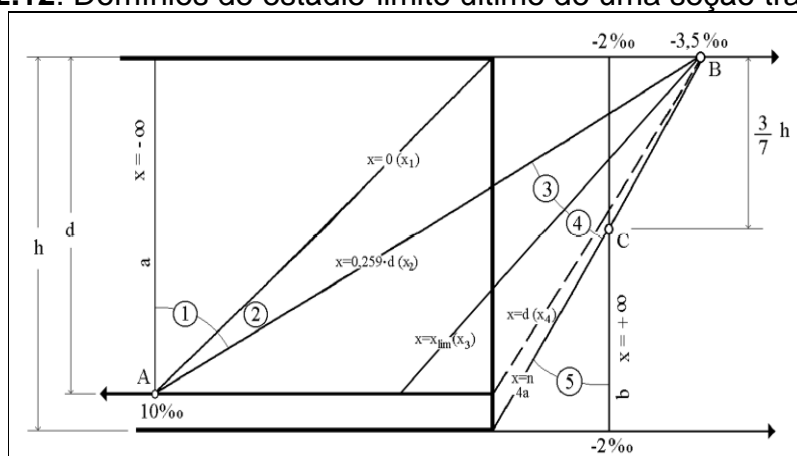
O estado-limite último é caracterizado quando a distribuição das deformações na seção transversal pertence a um dos domínios que representam as diversas possibilidades de ruínas da seção. Cada um dos pares de deformações específicas de cálculo  $\epsilon_{c2}$  e  $\epsilon_{cu}$  correspondem a um esforço normal, quando presente, e a um momento fletor atuantes na seção ( CARVALHO e FILHO, 2014).

A alocação do diagrama de deformação específica de cálculo dos materiais (aço e concreto) nos domínios é realizada para se determinar a resistência de cálculo de uma dada seção transversal (CARVALHO e FILHO, 2014).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, existem cinco domínios. Os domínios 1 e 2 correspondem a deformação convencional por deformação excessiva, enquanto que os demais a deformação convencional por encurtamento-limite do concreto.

Como pode ser visualizado na Figura 2.12, os domínios 1 e 2 são fixados pelo ponto A, os domínios 3 e 4 pelo ponto B e o domínio 5 pelo ponto C. Os diagramas de deformação de cada domínio estão compreendidos entre a tração uniforme e a compressão uniforme (ABNT NBR 6118:2014; CARVALHO; FILHO, 2014; SILVA, 2001) e a seguir serão apresentadas algumas características de cada domínio.

**Figura 2.12:** Domínios de estágio-limite último de uma seção transversal.



Fonte: Chust (2014).

*Domínio 1* – tração não uniforme, sem compressão: a seção está totalmente tracionada e a deformação na armadura é de  $\epsilon_s = 10\text{‰}$ . A linha neutra é externa à seção transversal, o concreto se encontra totalmente fissurado e os esforços são resistidos apenas pelo aço. Nele são incluídos os casos de tração axial e tração com pequena excentricidade (CARVALHO e FILHO, 2014; SILVA, 2001).

*Domínio 2* – flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto ( $\epsilon_c < \epsilon_{cu}$  e com o máximo alongamento permitido): caracterizado pela deformação  $\epsilon_{sd} = 10\text{‰}$ , o concreto não chega a ruptura ( $\epsilon_c < 3,5\text{‰}$ ) e a linha neutra corta a seção transversal (tração e compressão). A seção resistente é formada por aço tracionado e concreto comprimido (CARVALHO e FILHO, 2014; SILVA, 2001).

*Domínio 3* – seção simples (seção subarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e com escoamento do aço ( $\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$ ): é caracterizado pela

deformação  $\varepsilon_{sd} = 3,5\%$ . A linha neutra corta a seção transversal (tração e compressão), entre os domínios 3 e 4 e sua altura é variável com o tipo de aço. A ruptura do concreto ocorre ao mesmo tempo em que a da armadura ( $\varepsilon_s = \varepsilon_{yd}$ ), sendo que a ruína ocorre com aviso (grandes deformações) (CARVALHO e FILHO, 2014; SILVA, 2001).

*Domínio 4* – flexão simples (seção superarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e aço tracionado sem escoamento ( $\varepsilon_s < \varepsilon_{yd}$ ): é caracterizado pela deformação de ruptura do concreto  $\varepsilon_c = 3,5\%$ . A linha neutra corta a seção transversal (tração e compressão), a tensão de escoamento não é atingida, a ruptura é frágil, sem aviso, pois o concreto se rompe sem que ocorram grandes deformações na armadura. A seção resistente é composta por aço tracionado e concreto comprimido (CARVALHO e FILHO, 2014; SILVA, 2001).

*Domínio 4a* – flexão composta com armadura comprimida: é caracterizado por  $\varepsilon_c = 3,5\%$ . A linha neutra corta a seção transversal na região de cobrimento da armadura menos comprimida. A seção resistente é composta por aço e concreto comprimido (CARVALHO e FILHO, 2014)

*Domínio 5* – compressão não uniforme, sem tração: é caracterizado por  $\varepsilon_c = 3,5\%$  na flexão-compressão e  $\varepsilon_c = 2,0\%$  na compressão uniforme. A linha neutra não corta a seção transversal, que se encontra totalmente comprimida. A ruptura é frágil, sem aviso, pois o concreto se rompe com o encurtamento da armadura. A seção resistente é composta por aço e concretos comprimidos (CARVALHO e FILHO, 2014; SILVA, 2001).

#### 2.5.5 Efeito da fluência do concreto – avaliação da flecha diferida no tempo

“Fluência é um fenômeno em que surgem deformações ao longo do tempo em um corpo solicitado por tensão constante”(CARVALHO e FILHO, 2014). A fluência é composta por duas partes, uma rápida e outra lenta. A deformação rápida é irreversível e ocorre nas primeiras 24h de carregamento. A deformação lenta é dividida em outras duas partes: lenta irreversível e lenta reversível (ABNT NBR 6118, 2014).

Outro fenômeno que acomete as estruturas de concreto é a retração que se caracteriza pela variação volumétrica que ocorre em uma peça de concreto devido à perda de água. Esta deformação é pequena e, por isso, desprezada na maioria dos cálculos (CARVALHO e FILHO, 2014; KATAOKA, 2005).

As deformações excessivas e redistribuição de tensões, quando não detectadas e tratadas, podem provocar a degradação e, eventualmente, o colapso das estruturas. Levando em consideração a hipótese de que as seções planas permanecem planas após o carregamento para pequenas deformações, as tensões decrescem no concreto ao longo do tempo e aumentam na armadura, esta redistribuição também é produzida pela retração. Com isso, a armadura em pilares subarmados pode alcançar o ponto de escoamento, mesmo sob cargas de serviço (KATAOKA, 2005; BITTENCOURT, 2012).

### 3 METODOLOGIA

Foram feitas pesquisas bibliográficas, realizando dimensionamento das lajes pré-fabricadas para assim, verificar tais variações, resumindo em quadro, se há ou não variações significativas.

Primeiro será feito um estudo preliminar, que é o planejamento e a coleta de dados, para assim iniciar a verificação do dimensionamento.

Será analisado vinte e sete lajes pré-fabricadas com diferentes vãos, alterando a resistência do concreto, e alterando a capa. O dimensionamento das lajes pré-fabricadas é fundamental para realização de um projeto, pois ele determina o momento fletor de cálculo, assim para o bom desempenho da estrutura.

#### 3.1 Dimensionamento da laje

Verificar o estado de deformação excessiva da laje, (admitir que a edificação se destine a fins residenciais), que tem as seguintes características:  $\beta_{12}(h=12\text{cm})$  simplesmente apoiada, intereixo de 50cm, vão de 3m, classe 27,  $A_s= 3,65^2$ , peso próprio  $g_1= 1,60 \text{ kN/m}^2$  sobrecarga permanente  $g_2=1,50 \text{ kN/m}^2$ , carga acidental  $q= 4 \text{ kN/m}^2$ ,  $f_{ck}=20\text{MPa}$ , retirada do escoramento após duas semanas da concretagem,  $d= 12-2,10=9,90\text{cm}$ (Cobrimento de 1,5cm e barra 12,5mm).

Dados  $f_{ck}= 20\text{MPa}$ , aço de treliça do tijolo CA-60, seção transversal.

- Vão 3 m
- $F_{ck} = 20 \text{ MPa}$
- Capa = 4 cm
- $\beta_{12}$ . (  $h= 12 \text{ cm}$  )

$$\begin{aligned} d &= h - 2,10 \\ d &= 12 - 2,10 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Onde:  $d$  = altura útil

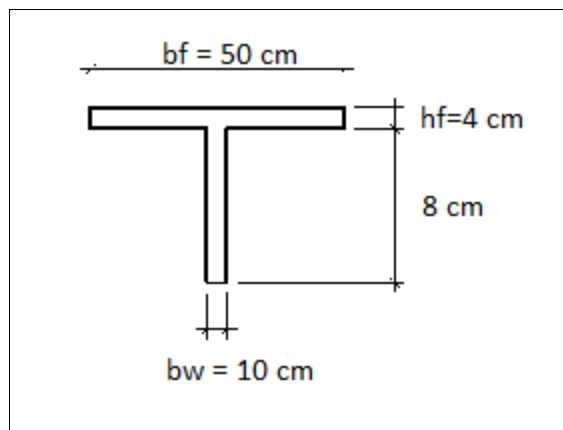
Características geométricas da seção transversal no estágio I (Estádio elástico)

Considerar seção bruta e sem presença de armadura

$$Y_{CG} = \frac{(b_f \cdot b_w) \cdot h_f \left(\frac{h_f}{2}\right) + (b_w \cdot h) \cdot \frac{h}{2}}{A_g}$$

$$Y_{CG} = \frac{(50 \text{ cm} - 10 \text{ cm}) \cdot (4 \text{ cm}) \cdot \left(\frac{4}{2} \text{ cm}\right) + (10 \cdot 12) \cdot \frac{12}{2} \text{ cm}}{(50 - 10) \cdot 4 + (10 \cdot 12)} \quad (3.2)$$

$$Y_{CG} = 3,71 \text{ cm}$$



Fonte: A autora (2018)

$$I_{IY} = \frac{b_f \cdot h_f^3}{12} + \frac{b_w \cdot (h - h_f)^3}{12} + (b_f \cdot h_f) \cdot \left(Y_{CG} - \frac{h_f}{2}\right) + \left[(b_w (h - h_f))\right] \cdot \left(\frac{h - h_f}{2} + h_f - Y_{CG}\right)$$

$$I_{IY} = \frac{50 \cdot 4^3}{12} + \frac{10 \cdot (12 - 4)^3}{12} + (50 \cdot 4) \cdot \left(3,71 - \frac{4}{2}\right) + \left[(10(12 - 4))\right] \cdot \left(\frac{12 - 4}{2} + 4 - 3,71\right) \quad (3.3)$$

$$I_{IY} = 1379 \text{ cm}^4 = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Características da seção transversal para no estágio II (Estádio de fissuração)



Para calcular as características da seção no estágio II puro é preciso conhecer, inicialmente, o módulo de deformação longitudinal do concreto para encontrar o valor de  $\alpha_e$  (relação entre os módulos de deformação do aço e do concreto).

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{CS}} = \frac{210000}{4760\sqrt{Fck}} = \frac{210000}{4760\sqrt{20}} = \frac{210000}{21287} = 9,87 \quad (3.4)$$

Para o estágio II puro, o valor da posição da linha neutra é representada pela equação XII com  $A's=0$  / Admitindo-se inicialmente que a linha neutra passa na mesa.

$X_{II} < h_f$  = seção retangular  $\rightarrow b_w = b_f$

Posição (profundidade da linha neutra):

$$a_1 = \frac{b_w}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ cm}$$

$$a_2 = \alpha_e \cdot A_s = 9,87 \cdot 3,615 \text{ cm}^2 = 35,68 \text{ cm}^2$$

$$a_3 = -\alpha \cdot \alpha_e \cdot A_s = 9,90 \cdot 9,87 \cdot 3,615 = -353,23 \text{ cm}^2$$

$$X_{II} = \frac{-a_2 \pm \sqrt{(a_2)^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1} \quad (3.5)$$

$$X_{II} = \frac{-35,68 \pm \sqrt{(35,68)^2 - 4 \cdot 25 \cdot (-353,23)}}{2 \cdot 25}$$

$$X_{II} = 3,11 \text{ cm} < h_f = 4 \text{ cm} \rightarrow \text{Seção retangular}$$

Momento de inércia no estágio II

$$I_{X,IIo} = \frac{b_f \cdot x^3}{3} + \alpha_e A_s (x - d)^2 \quad (3.6)$$

$$I_{X,IIo} = \frac{50.3,11^3}{3} + 9,87.3,615. (3,11 - 9,90)^2$$

$$I_{X,IIo} = 2146 \text{ cm}^4 = 2,15.10^{-5} \text{ m}^4$$

Cálculo das flechas para as diversas combinações

$$a = \frac{5.p.l^4}{384.E_{cs}.I_m} \quad (3.7)$$

$$E_{cs} = 4760\sqrt{Fck}$$

$$E_{cs} = 4760\sqrt{20} \quad (3.8)$$

$$E_{cs} = 21287 \text{ Mpa}$$

$$I_M = \frac{M_R}{M_{at}} \cdot I_{Ig} + \left[ 1 - \left( \frac{M_R}{M_{at}} \right)^3 \right] \cdot I_{X,IIo} \quad (3.9)$$

Observação:

M= Para seção T

Ic= Momento de inercia da seção bruta de concreto

Yt= Distância do centro de gravidade da seção bruta a fibra mais tracionada.

$$M_R = \frac{\alpha.F_{ct,m}.I_{Ig}}{Y_T} \quad (3.10)$$

$$F_{ct,m} = 0,3.Fck^{\frac{2}{3}} = 0,3.20^{\frac{2}{3}} = 2,21 \text{ Mpa} = 2210 \text{ kN/m}^2 \quad (3.11)$$

$$M_R = \frac{1,2.2210.1,4.10^{-5}}{0,12 - 0,05} \quad (3.12)$$

$$M_R = 0,53 \text{ kN.m}$$

Momento atuante

$$M_{at} = \frac{P \cdot l^2}{8} \quad (3.13)$$

Observação:

P= As cargas em cada nervura é l=5m

P= As cargas P atuantes por nervura (largura da mesa de 50cm) seção calculada para as combinações permanentes, quase permanentes e raras (esta última apenas para o cálculo da flecha deferida à carga acidental):

$$\text{Permanente: } P_1 = (g_1 + g_2) \cdot 0,5 = (1,6 + 1,5) \cdot 0,5 = 1,55 \text{ kN/m}$$

$$\text{Quase permanente: } P_2 = (g_1 + g_2 + 0,3q) \cdot 0,5 = (1,6 + 1,5 + 0,3 \cdot 4) \cdot 0,5 = 2,15 \text{ kN/m}$$

$$\text{Rara: } P_3 = (g_1 + g_2 + q) \cdot 0,5 \rightarrow P_3 = (1,6 + 1,5 + 4) \cdot 0,5 = 3,55 \text{ kN/m}$$

Ambos para cada nervura.

As flechas, calculadas para três combinações, deverão atender aos limites apresentados abaixo:

Para totalidade das cargas: l/250

Para cargas acidentais: l/ 350

$$M_{m\acute{a}x,p1} = \frac{1,55 \cdot (3m)^2}{8} = 1,74 \text{ kN.m}$$

$$M_{m\acute{a}x,p2} = \frac{2,15 \cdot (3m)^2}{8} = 2,42 \text{ kN.m} \quad (3.14)$$

$$M_{m\acute{a}x,p3} = \frac{3,55 \cdot (3m)^2}{8} = 3,99 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}}, P_1 = \frac{0,53 \text{ kN.m}}{1,74 \text{ kN.m}} = \mathbf{0,30} \quad (3.15)$$

$$\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}}, P_2 = \frac{0,53 \text{ kN.m}}{2,42 \text{ kN.m}} = \mathbf{0,22}$$

$$\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}}, P_3 = \frac{0,53 \text{ kN.m}}{3,99 \text{ kN.m}} = \mathbf{0,13}$$

$$I_{M,P1} = 0,3 \cdot 1,4 \cdot 10^{-5} + [1 - (0,3)^3] \cdot 2,15 \cdot 10^{-5}$$

$$I_{M,P1} = 2,51 \cdot 10^{-5} m^4$$

$$I_{M,P2} = 0,22 \cdot 1,4 \cdot 10^{-5} + [1 - (0,22)^3] \cdot 2,15 \cdot 10^{-5}$$

$$I_{M,P2} = 2,33 \cdot 10^{-5} m^4$$

(3.16)

$$I_{M,P3} = 0,13 \cdot 1,4 \cdot 10^{-5} + [1 - (0,13)^3] \cdot 2,15 \cdot 10^{-5}$$

$$I_{M,P3} = 2,13 \cdot 10^{-5} m^4$$

Retomando a equação 4.7, tem-se:

$$\alpha_{P1} = \frac{5,155 \cdot 3^4}{384 \cdot 21287 \cdot 10^3 \cdot 2,51 \cdot 10^{-5}} = 0,003 \text{ m} = \mathbf{0,3 \text{ cm}}$$

$$\alpha_{P2} = \frac{5,215 \cdot 3^4}{384 \cdot 21287 \cdot 10^3 \cdot 2,33 \cdot 10^{-5}} = 0,0045 \text{ m} = \mathbf{0,45 \text{ cm}}$$

$$\alpha_{P3} = \frac{5,355 \cdot 3^4}{384 \cdot 21287 \cdot 10^3 \cdot 2,13 \cdot 10^{-5}} = 0,0083 \text{ m} = \mathbf{0,83 \text{ cm}}$$

$$a_q = 0,83 - 0,3 = 0,53 \text{ cm}$$

A flecha devida a carga acidental é dada pela diferença entre a carga total (combinação rara) e a carga permanente.

$$a_q = 0,53 < a_{lim} = \frac{l}{350} = \frac{3}{350} = 0,86 \rightarrow \text{Verificação} \quad (3.17)$$

#### Determinação do efeito de fluência

A verificação do efeito de fluência é calculada pela combinação quase permanente.

$$P_2 = 2,15 \text{ kN.m}$$

$$M_{m\acute{a}x,p_2} = 2,42 \text{ kN.m}$$

$t_o$  = idade em meses, relativa a data de aplicação de carga de longa duração

$$t_o = \frac{14 \text{ dias}}{30 \text{ dias}} = 0,47 \text{ meses}$$

$$\varepsilon(t_o) = 0,68 \cdot 0,996^t \cdot t^{0,32} = 0,68 \cdot 0,996^{0,47} \cdot 0,47^{0,32} = 0,53$$

$$\varepsilon(\infty) = 2 \text{ (fixo para } > 70 \text{ meses)} \quad (3.18)$$

$$p' = 0$$

$$\alpha_f = \frac{\Delta\varepsilon}{1 + 50 \cdot p'} = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha total no tempo infinito será a flecha ocorrida em razão da carga obtida pela combinação quase permanente multiplicada por  $(1 + \alpha_f)$ :

$at, o$  = flecha imediata para combinação de caráter permanente

$$at, \infty = at, o \cdot (1 + \alpha_f) \quad at, o = 0,45 \text{ cm}$$

$$at, \infty = 0,45 \cdot (1 + 1,47) = 1,11 \text{ cm} < \frac{l}{350} = \frac{3}{350} = 1,20 \text{ cm} \rightarrow \text{Passou} \quad (3.19)$$

Pode haver contra flecha de até:

$$a_{cf} = \frac{-l}{350} = \frac{-3}{350} = -0,85 \quad (3.20)$$

$$a_{total,\infty} = 1,11 - 0,85 = 0,26 \text{ cm} < \frac{l}{250} = \frac{3}{250} = 1,20 \text{ cm} \rightarrow \text{Passou} \quad (3.21)$$

A condição de deformação foi atendida.

### 3.2 Planilha para análise de flechas

**Quadro 3.1:** Planilha para análise de flechas – Teste 01

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000138		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,53									
Ação	p	M	Mr/M	A=(Mr/M) <sup>3</sup>	B=1-(Mr/M) <sup>3</sup>	A*11	B*12	Im	C=p/Im	a=k*c
permanente	1,55	1,74	0,304	0,0281	0,9719	3,87484E-07	2,08963E-05	2,12838E-05	72825,36	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,219	0,0105	0,9895	1,45189E-07	2,12738E-05	2,1419E-05	100378,2	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,133	0,0023	0,9977	3,22526E-08	2,14498E-05	2,1482E-05	165254,6	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227482		alimte	0,012						

Fonte: A autora (2018)

As demais planilhas constam no Anexo A.

### 3.3 Correlação das flechas infinitas

Quadro abaixo mostra a correlação dos resultados das flechas infinitas, sendo que os vãos de três, quatro e seis metros, obteve diferentes medidas da capa de concreto.

**Quadro 3.2:** Correlação dos resultados

Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,87471333
3 metros	4	20	0,01227482		
3 metros	5	20	0,01227489		
3 metros	6	20	0,01227829		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,8559241
3 metros	4	25	0,00969622		
3 metros	5	25	0,00969758		
3 metros	6	25	0,00963761		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,3530364
3 metros	4	30	0,00787528		
3 metros	5	30	0,00787896		
3 metros	6	30	0,00787323		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,86606701
4 metros	4	20	0,01890343		
4 metros	5	20	0,03867429		
4 metros	6	20	0,03867619		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,8559418
4 metros	4	25	0,03049241		
4 metros	5	25	0,03049317		
4 metros	6	25	0,0304596		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	-0,518958
4 metros	4	30	0,02470984		
4 metros	5	30	0,02471173		
<i>(Continua)</i>					

4 metros	6	30	0,0247078		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,86606701
4 metros	4	20	0,01890343		
4 metros	5	20	0,03867429		
4 metros	6	20	0,03867619		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,8559418
4 metros	4	25	0,03049241		
4 metros	5	25	0,03049317		
4 metros	6	25	0,0304596		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	-0,518958
4 metros	4	30	0,02470984		
4 metros	5	30	0,02471173		
4 metros	6	30	0,0247078		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	0,86602894
6 metros	4	20	0,09272942		
6 metros	5	20	0,19566864		
6 metros	6	20	0,19566948		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	-0,8561668
6 metros	4	25	0,1542163		
6 metros	5	25	0,15421663		
6 metros	6	25	0,15420173		
Vão	Capa	MPa	Flecha infinita	r=	-0,3770303
6 metros	4	30	0,12491522		
6 metros	5	30	0,12491605		
6 metros	6	30	0,12491471		

Fonte: A autora (2018)



## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Através dos cálculos retiraram-se os dados para o preenchimento das planilhas e quadros e obtiveram o resultado da verificação da flecha infinita para edificações residenciais. Para obtenção desses resultados, calcularam-se vinte e sete tipos de lajes pré-fabricadas com diferentes tipos de vãos, MPa, capa e Be

### 4.1 Flechas infinitas

FLECHA INFINITA					
Testes	Vão	MPa	Capa (cm)	<i>h</i>	Flecha infinita (m)
Teste 01	3 metros	20 MPa	4 cm	<i>h</i> 12	0,01227482 m
Teste 02	3 metros	20 MPa	5 cm	<i>h</i> 12	0,01227489 m
Teste 03	3 metros	20 MPa	6 cm	<i>h</i> 12	0,01227829 m
Teste 04	3 metros	25 MPa	4 cm	<i>h</i> 13	0,00969622 m
Teste 05	3 metros	25 MPa	5 cm	<i>h</i> 13	0,00969758 m
Teste 06	3 metros	25 MPa	6 cm	<i>h</i> 13	0,00963761 m
Teste 07	3 metros	30 MPa	4 cm	<i>h</i> 14	0,00787528 m
Teste 08	3 metros	30 MPa	5 cm	<i>h</i> 14	0,00787869 m
Teste 09	3 metros	30 MPa	6 cm	<i>h</i> 14	0,00787323 m
Teste 10	4 metros	20 MPa	4 cm	<i>h</i> 12	0,01890343 m
Teste 11	4 metros	20 MPa	5 cm	<i>h</i> 12	0,03867429 m
Teste 12	4 metros	20 MPa	6 cm	<i>h</i> 12	0,03867619 m
Teste 13	4 metros	25 MPa	4 cm	<i>h</i> 13	0,03049241 m
Teste 14	4 metros	25 MPa	5 cm	$\beta$ 13	0,03049317 m
Teste 15	4 metros	25 MPa	6 cm	<i>h</i> 13	0,0304596 m
Teste 16	4 metros	30 MPa	4 cm	<i>h</i> 14	0,02470984 m
Teste 17	4 metros	30 MPa	5 cm	<i>h</i> 14	0,02471173 m
Teste 18	4 metros	30 MPa	6 cm	<i>h</i> 14	0,0247087 m
Teste 19	6 metros	20 MPa	4 cm	<i>h</i> 12	0,09272942 m
Teste 20	6 metros	20 MPa	5 cm	<i>h</i> 12	0,19566864 m
Teste 21	6 metros	20 MPa	6 cm	<i>h</i> 12	0,19566948 m
Teste 22	6 metros	25 MPa	4 cm	<i>h</i> 13	0,1542163 m
Teste 23	6 metros	25 MPa	5 cm	<i>h</i> 13	0,15421663 m
Teste 24	6 metros	25 MPa	6cm	<i>h</i> 13	0,15420173 m
Teste 25	6 metros	30 MPa	4 cm	<i>h</i> 14	0,12491522 m
Teste 26	6 metros	30 MPa	5 cm	<i>h</i> 14	0,12491605 m
Teste 27	6 metros	30 MPa	6 cm	<i>h</i> 14	0,12491471 m

---

Fonte: A autora (2018)

**Quadro 4.1:** Flechas infinitas

Fazendo-se uma comparação entre os vãos podemos analisar que os resultados obtidos não tiveram influência significativa da capa utilizada, visto que a influência nos resultados foram os vãos, pois quanto maior o vão, maiores foram as flechas obtidas.

## 5 CONCLUSÃO

As lajes pré-fabricadas podem ser aplicadas em edifícios residenciais, fábricas, pequenas habitações, dentre outros. E devido a facilidade de execução, tem se tornado uma opção bastante viável.

Através deste estudo foi possível analisar que, em um projeto, o dimensionamento eficiente das lajes é muito importante devido as lajes pré-fabricadas serem formadas por pequenos elementos estruturais, que podem obter uma deformação excessiva.

Deste modo, por serem peças prismáticas, devemos considerar vários fatores, bem como as medidas dos vãos, resistência do concreto utilizado, capa de concreto e a altura da viga, para assim obter os valores necessários, para evitar a flecha excessiva.

Portanto, com os resultados, o objetivo deste trabalho foram alcançados, tendo como verificação que, maior o vão, maiores as flechas, sendo possível perceber que, não se obteve valores significativos com a mudança das medidas da capa de concreto, sendo que as maiores diferenças, foram nos testes décimo e décimo primeiro, tendo em vista que o resultado destas flechas, foram abaixo da flecha estipulada pela norma ABNT NBR: 6118:2014. Sendo assim, o que mais influenciou foram as medidas dos vãos e a resistência do concreto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118:2004. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. NBR 9062:1985. Rio de Janeiro, ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lajes pré-fabricadas. NBR 14859-1. Rio de Janeiro, ABNT, 2002

CARVALHO, R.C. e FIGUEIREDO FILHO, J.R. (2004). Cálculo e Detalhamento de estruturas Usuais de Concreto Armado. São Carlos. EdUFSCar – 2º Edição

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR-8681:2004 Ações e Segurança nas Estruturas. Rio de Janeiro

NBR-6118 / 2003 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Laje pré-fabricada – Pré-laje- Requisitos. NBR 14860-1. Rio de Janeiro, ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento.* . Rio de Janeiro (RJ): ABNT. , 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12654- Controle tecnológico de materiais componentes do concreto.* . Rio de Janeiro (RJ): ABNT. , 1992

ABNT. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. NBR 6136:2007. Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14859-1. Lajes pré-fabricadas - Requisitos- Parte 1: Lajes unidirecionais.* . [S.l: s.n.]. , 2002a

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14859-2. Lajes pré-fabricadas - Requisitos- Parte 2: Lajes bidirecionais.* . [S.l: s.n.]. , 2002b

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14860-1 - Laje pré-fabricada - Pré-laje - Requisitos - Parte 1 : Lajes unidirecionais.* . Rio de Janeiro (RJ): ABNT. , 2002c

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.* . Rio de Janeiro (RJ): ABNT. , 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739 - Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - procedimento*. Rio de Janeiro (RJ), Brasil: ABNT, 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro (RJ), Brasil: ABNT, 1980

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7480- Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado*. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 33: Concreto - amostragem do concreto fresco*. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 1998a

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abastecimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 1998b

BRUMATTI, Dioni O. *Uso de pré-moldados - estudo e viabilidade*. 2008. UFMG, Belo Horizonte (MG), 2008.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo NBR 6118:2003*. 3ª edição ed. São Carlos (SP): Edufscar, 2014. p. 376

FLÓRIO, Márcio Cardozo. *Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado*. 2004. UFSCar, 2004.

KATAOKA, Luciana Tiemi. *Estudo experimental da deformação ao longo do tempo de lajes contínuas e simplesmente apoiadas executadas com vigotas pré-moldadas de concreto*. 2005. USCar, São Carlos (SP), 2005.

KATAOKA, Luciana Tiemi; BITTENCOURT, Túlio N. *Análise experimental do efeito da fluência e retração em pilares de concreto armado*. 2012, Porto (Pt): Universidade do Porto, 2012. p. 9. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Dropbox/Eng CIVIL/GRUPO DE ESTUDO/093\_Artigo.pdf>.

LUIZ, Helbert. *Lajes - elementos de concreto armado*. Disponível em: <<http://betoconstrucoes.blogspot.com>>. Acesso em: 13 set. 2014.

SANTINE, Carlos Roberto. *Projeto e construção de lajes pré-fabricadas de concreto armado*. 2006. UFSCar, 2006.

Construção e reforma. [http:Equipe de obra 17. pini.com](http://Equipe%20de%20obra%2017.pini.com) 11 julho. 2011.

SILVA, Elivaldo Elenildo Da. *Otimização de estruturas de concreto armado utilizando algoritmos genéticos*. 2001. USP, São Paulo (SP), 2001.

## ANEXO A – PLANILHA PARA ANÁLISE DE FLECHAS

### Quadro A-1: Teste 02

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

### Quadro A-2: Teste 03

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

### Quadro A-3: Teste 04

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-4:Teste 05

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-5:Teste 06

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-6:Teste 07

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-7: Teste 08

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-8: Teste 09

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-9: Teste 10

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						



Quadro A-10:Teste 11

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-11:Teste 12

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-12:Teste 13

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-13: Teste 14

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-14: Teste 15

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-15: Teste 16

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-16: Teste 17

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-17: Teste 18

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-18: Teste 19

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-19: Teste 20

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-20: Teste 21

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-21: Teste 22

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-22: Teste 23

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-23: Teste 24

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-24: Teste 25

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-25: Teste 26

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						

Quadro A-26: Teste 27

fck	20		Ec	21287		k	4,95452E-08			
Inércia I	0,0000146		alfa	9,87						
Inércia II	0,0000215									
Vão	3									
Mr	0,55									
<b>Ação</b>	<b>p</b>	<b>M</b>	<b>Mr/M</b>	<b>A=(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>B=1-(Mr/M)<sup>3</sup></b>	<b>A*I1</b>	<b>B*I2</b>	<b>Im</b>	<b>C=p/Im</b>	<b>a=k*c</b>
permanente	1,55	1,74	0,315	0,0314	0,9686	4,5813E-07	2,08254E-05	2,12835E-05	72826,41	0,00361
quase permanente	2,15	2,42	0,227	0,0118	0,9882	1,7166E-07	2,12472E-05	2,14189E-05	100378,8	0,00497
frequente										
rara	3,55	3,99	0,138	0,0026	0,9974	3,81328E-08	2,14438E-05	2,1482E-05	165254,8	0,00819
to (dias)	14	meses	0,47							
qsit0	0,53183728		alfaf	1,4681627						
Flecha infinita	0,01227489		alimte	0,012						