



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

CARLOS KALWENDY SANTOS DAMASCENO

ESTUDO DE FLECHAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

ANGICOS-RN

2018

CARLOS KALWENDY SANTOS DAMASCENO

ESTUDO DE FLECHAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharias, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof (a) Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega.

ANGICOS-RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D155e Damasceno, Carlos Kalwendy Santos.
Estudo de flechas em vigas de concreto armado
/ Carlos Kalwendy Santos Damasceno. - 2018.
66 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

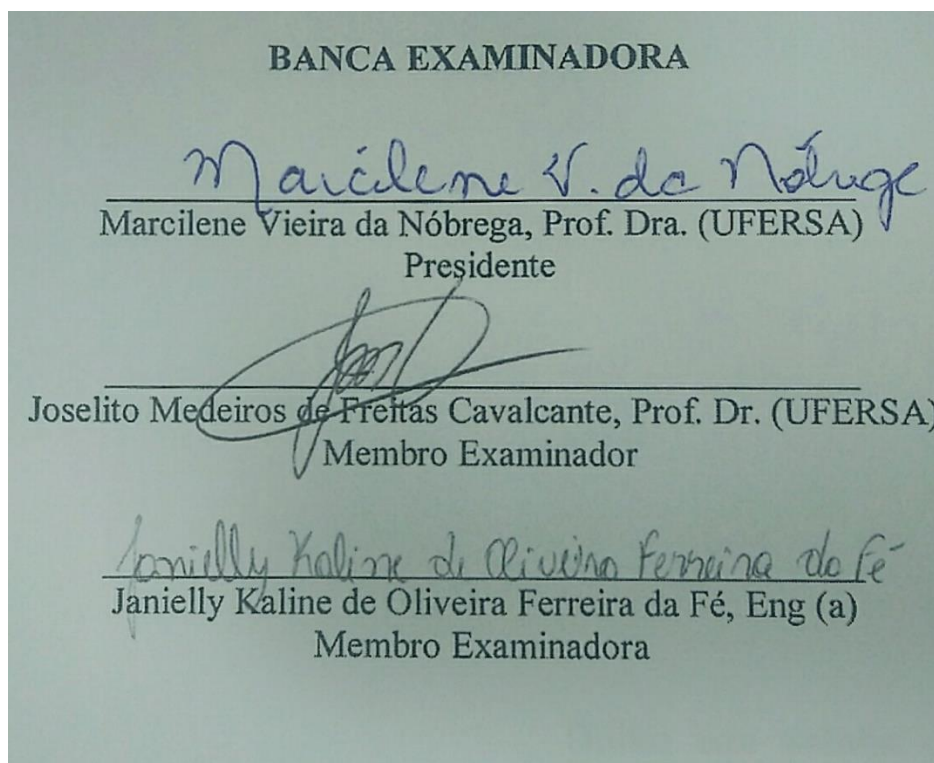
1. Vigas . 2. Flechas em vigas. I. Nóbrega,
Marcilene Vieira da , orient. II. Título.

CARLOS KALWENDY SANTOS DAMASCENO

ESTUDO DE FLECHAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharias, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 12 / 09 / 2018



ANGICOS-RN

2018

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, pelo dom da vida e em segundo aos meus pais, **Carlos Jeronimo Damasceno** e **Maria Das Graças Dos Santos**, por todo amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus por esta sempre presente ao meu lado.

A Prof. Marcilene Vieira da Nóbrega, pela objetiva e fundamental orientação.

Aos meus pais e às minhas tias, por tudo que fizeram por mim como pessoa. A quem eu devo tudo o que eu sou.

A Laisa de Melo, minha namorada, por todo apoio e incentivo, e todo conforto nas horas difíceis.

Ao meu sogro e minha sogra, por toda assistência, que contribuíram indiretamente para conclusão desse trabalho.

Aos “Nerds”, por todo apoio, incentivo e paciência nas horas mais difíceis.

Aos demais amigos e colegas, em especial, Túlio, Rafael, Elvis, Shandley, Thalison, Cleilton e Daniel, pelo grande apoio e maravilhosa convivência nesses anos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem
perder entusiasmo. ”

Winston Churchill

RESUMO

As estruturas de concreto armado são utilizadas em várias áreas da engenharia. Dentre essas estruturas destacam-se as vigas. Essas são elementos estruturais que conseguem vencer grandes vãos e se corretamente calculadas e dimensionadas podem atingir um tempo de vida útil duradouro. Um aspecto bastante importante desse tipo de estrutura é a verificação e determinação de flechas. Essas permitem com que o eixo da peça se desloque em relação a posição de equilíbrio quando os carregamentos transversais atuam. Portanto, o conhecimento teórico e prático desse tipo de ocorrência permite que os engenheiros elaborem projetos seguros e econômicos. Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral realizar um levantamento teórico na literatura clássica e em trabalhos científicos sobre o comportamento de flechas em vigas. Para tal foi realizada ampla pesquisa em periódicos, normas e outros trabalhos relacionados. Foram analisados outros trabalhos que abrangem o mesmo problema, assim como apresentam outros modos de calcular e dimensionar, além de utilizar materiais e componentes alternativos, com isso, obteve-se resultados positivos para diminuição da flecha, tanto nos métodos apresentados ou no uso de alguns materiais alternativos, além disso, a mistura de outros componentes no concreto convencional, melhorou a resistência e rigidez da viga, o que resultou em menores flechas.

Palavras-Chave: Vigas; Flechas em vigas;

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are used in various engineering areas. Among these structures, the beams stand out. These are structural elements that can overcome large gaps and if correctly calculated and dimensioned can achieve a long lifetime. A very important aspect of this type of structure is the verification and determination of arrows. These allow the workpiece axis to move relative to the equilibrium position when the transverse loads act. Therefore, the theoretical and practical knowledge of this type of occurrence allows engineers to design safe and economical projects. In this way, this work has as general objective to carry out a theoretical survey in the classical literature and in scientific works on the behavior of arrows in beams. For that, extensive research was carried out in periodicals, standards and other related works. Other studies covering the same problem were analyzed, as well as other ways of calculating and sizing, as well as using alternative materials and components. Positive results were obtained for the reduction of the arrow, both in the presented methods and in the use of some alternative materials, in addition, the mixing of other components in the conventional concrete, improved the strength and stiffness of the beam, which resulted in smaller arrows.

Keywords: Beams; Arrows on beams;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vigas de aço	20
Figura 2: Vigas de madeira.....	20
Figura 3: Vigas de concreto e aço	21
Figura 5 : Geometria da seção das vigas	22
Figura 6 : Apoios de vigas isostáticas	22
Figura 7: Apoios de vigas hiperestáticas	23
Figura 8: Vão efetivo.....	30
Figura 9: Deslocamento da linha neutra	31
Figura 10: Prensa Hidráulica com capacidade de 500kN.....	35
Figura 11: Vigas de tamanho reduzido após ensaio	36
Figura 12: Fluxograma do procedimento experimental	38
Figura 13: Posicionamento dos elementos no ensaio instrumentado de 4 pontos.....	39
Figura 14: Perfil transversal da viga.....	41
Figura 15: Resultado final da armação	42
Figura 16: Preenchimento com graude	42
Figura 17: Flecha imediata mais flecha diferida no tempo	43
Figura 18: Fluxograma do procedimento numérico FLECHA-0	44
Figura 19: Fluxograma do procedimento numérico FLECHA-T.....	45
Figura 20: Propriedades do concreto celular, concreto celular estrutural, concreto leve com argila expandida e concreto convencional.....	47
Figura 21: Diagrama tensão x deformação de estudos bibliográficos.....	47
Figura 22: Fluxograma dos cálculos realizados no programa para etapa 0.....	49
Figura 23: Fluxograma dos cálculos realizados no programa para etapa 1.....	50
Figura 24: Detalhe da talisca com o nó reforçado e pedaço de bambu a ser aderido na região do nó.....	52
Figura 25: Taxa de absorção de água	52
Figura 26: Características dos corpos de prova utilizados no ensaio de arrancamento..	53
Figura 27: Corpos de prova	54
Figura 28: Ensaio de arrancamento	54
Figura 29: Armadura com e sem talisca de bambu	55
Figura 30: 1)Relógio comparador, 2) Rolete, 3) Perfil metálico usado para transferir a carga para a viga em 2 pontos que definem a região central, 4) Rótula, 5) Célula de carga e 6) Macaco hidráulico.....	56

Figura 31: Corpos de prova cilíndricos	57
Figura 32: Armadura com aço CA-60	58
Figura 33: Esquema do ensaio.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Equações para concreto ate a classe CA50.....	28
Quadro 2: Equações para o concreto de qualquer classe.....	28
Quadro 3: Equações para defini valores das propriedades do concreto	29
Quadro 4: Resultados dos trabalhos sobre determinação/dimensionamento de flechas em viga, segundo os autores.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da seção transversal do corpo de prova
a_{tw}	Valor da flecha em tempo infinito
a_{t0}	É a flecha imediata
a_2	Valor expresso em unidade de distancia
a_1	Valor expresso em unidade de distancia
A_s	Área da armadura de compressão no trecho considerado
α_f	Fator utilizado para multiplicar pela flecha imediata, calculado na Equação 11
α_c	Coeficiente que depende da condição estática do sistema considerado e do tipo de ações atuantes
CFRP	Compósito reforçado com fibra de carbono
d	Altura útil
Ecs	Módulo de elasticidade secante
ELS	Estado limite de serviço
ELU	Estado limite ultimo
FRP	Compósito de fibras e resinas
f_{stk}	Limite de resistência
$f_{ctk,sup}$	É a resistência média a tração na parte superior
$f_{ctk,inf}$	É a resistência média a tração na parte inferior
$f_{ct,m}$	É a resistência a tração
f_{cj}	Resistência a compressão do corpo de prova de concreto na idade de (j) dias;
GFRP	Compósito reforçado com fibra de vidro
h	Altura da viga
l	Vão da viga
l_{ef}	Vão efetivo
l_1	Comprimento final
l_0	Comprimento inicial
l_0	A distância mais próxima dos apoios
LVDT	Transformador diferencial variável linear
NSM	Embutido no cobrimento do concreto
N_{rup}	Carga de ruptura do corpo de prova
p_i	Parcelas de carga

p	Carga definida por certa combinação ou quase permanente
ρ'	taxa geométrica da armadura longitudinal de compressão
PTV	princípio dos trabalhos virtuais
PVC	Policloreto de polivinila
t_2	Largura do segundo pilar de apoio
t_1	Largura do primeiro pilar de apoio
t_{0i}	Idade em meses de cada parcela
t_0	Idade em meses, referente a data de aplicação da carga de longa duração. Se as cargas aplicadas forem de idades diferentes, considera-se a equação $t_0 = \frac{\sum p_i t_{0i}}{\sum p_i}$
x	Profundidade da linha neutra
t	Tempo, em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida
ξ	coeficiente função do tempo, sendo $\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0)$
ε	Deformação no local da ruptura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	VIGAS DE CONCRETO ARMADO – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	19
3.1.1	DEFINIÇÃO DE VIGA	19
3.1.2	CLASSIFICAÇÃO/USOS/MATERIAIS CONSTITUINTES.....	19
3.1.2.1	MATERIAL CONSTITUINTE	19
3.1.2.2	FORMA GEOMÉTRICA DA SEÇÃO.....	21
3.1.2.3	CLASSIFICAÇÃO PELO TIPO DE APOIO.....	22
3.2	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E CÁLCULO	23
3.2.1	CONCRETO.....	23
3.2.2	CONCRETO ARMADO	23
3.2.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS	24
3.2.4	NORMA TÉCNICA.....	24
3.2.5	CÁLCULOS E CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	25
3.2.5.1	RESISTENCIA A COMPRESSÃO	25
3.2.5.2	RESISTENCIA A TRAÇÃO	25
3.2.6	AÇO	26
3.2.7	CARACTERÍSTICAS DO AÇO	26
3.2.8	CÁLCULO DA ARMADURA LONGITUDINAL EM VIGAS SOB FLEXÃO NORMAL.....	27
3.2.9	DIMENSIONAMENTO DO CONCRETO E AÇO	28
3.2.10	VÃO EFETIVO DA VIGA	29
3.2.11	ALTURA E LARGURA	30
3.3	FLECHA EM VIGAS.....	31
3.3.1	DEFINIÇÃO	31
3.3.2	OBTENÇÃO DE FLECHAS EM VIGAS	31
3.3.3	DANOS DECORRENTES DE MAL DIMENSIONAMENTO DE VIGAS	33
4	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35

5.1	<i>ESTUDO DE FILHO ET. AL. (2011)</i>	35
5.2	<i>ESTUDOS DE DEGHEHARD E VARGAS (2013)</i>	36
5.3	<i>ESTUDOS DE CAETANO (2014)</i>	39
5.4	<i>ESTUDOS DE CONTADINI (2014)</i>	41
5.5	<i>ESTUDOS DE BANDINI (2015)</i>	43
5.6	<i>ESTUDOS DE FERREIRA (2015)</i>	46
5.7	<i>ESTUDOS DE TELES (2015)</i>	48
5.8	<i>ESTUDOS DE TSUTSUMOTO (2016)</i>	51
5.9	<i>ESTUDOS DE MELO (2017)</i>	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

As edificações utilizam o concreto armado como um dos principais materiais de construção. O concreto por sua vez, pode ser preparado no local da obra ou pode ser dosado em centrais com as resistências especificadas. É considerada uma mistura de areia, cimento e água e são misturados de acordo com os traços ou dosagens definidas para alcançarem as resistências necessária sem que sofram danos durante sua vida útil.

O concreto armado é composto por barras de aço cobertas com concretos, onde o aço atua de forma que resista a esforços de tração e o concreto a compressão. Essa combinação dá origem aos componentes estruturais.

As construções contêm em seu esqueleto peças estruturais que dão resistência e rigidez a mesma. Essas peças são as vigas, lajes e pilares. Todos são responsáveis por suportarem o peso da estrutura e transferir as tensões para a fundação.

As vigas devem ser dimensionadas nos limites definidos por normas, de forma que suportem flechas máximas sem alterar sua resistência, mantendo-a esbelta. São classificadas como elementos lineares quando o comprimento longitudinal supera pelo menos três vezes a maior dimensão transversal podendo também ser denominada de barras. As vigas são conhecidas como elementos lineares em que a flexão é preponderante (ABNT NBR 6118:2014).

Nas vigas ocorre, na maioria das vezes o deslocamento transversal em função da atuação das cargas denominado de flecha. De acordo com Contadini (2014), quando a viga está sujeita a flexão, com o aumento gradual de cargas, surgem fissuras, podendo romper o elemento estrutural, caso a carga seja continua.

Para o cálculo das flechas máximas, utilizam-se fórmulas que consideram diversos fatores para uma maior precisão nos resultados das tensões máximas a qual a viga estará sujeita, evitando que atinja o estado limite último (ELU). Esses fatores levam em consideração os parâmetros de retração (redução no volume do concreto), nível de fissuração (fendas que se abrem) entre outros.

O estado limite último é definido como o estado limite relacionado ao colapso, ou qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura (ABNT, 2014).

Para Leonhardt (1982) *apud* Bandini (2015) os danos mais frequentes causados por flechas excessivas são: fissuras de alvenaria, destruição ou emperramento nos caixilhos (armação que recebe portas e janelas) e esquadrias, assim como a flambagem de paredes e

pilares esbeltos. O desconforto visual, e a sensação de insegurança são consequências decorrente desses eventos, além do transtorno para realizar o reparo, com o intuito de evitar ou reduzir tais adversidades o conhecimento e a pratica do estudo teórico sobre flechas em vigas é essencial.

Desta forma esse trabalho se propõe a realizar um estudo sobre flechas em vigas de concreto armado, ou seja, definições, aspectos dimensionais, estudos de caso e formas de prevenção.

2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um levantamento teórico sobre a ocorrência de flechas em vigas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar conceitos básicos referentes ao elemento estrutural viga através de pesquisas em livros e periódicos; Verificar os métodos de cálculo e dimensionamento de vigas de concreto armado com base em livros e na Norma NBR 6118 (2014).
- Realizar levantamento de obtenção de flechas em vigas de concreto armado.
- Fazer um levantamento de pesquisas que tratem de prevenção, melhorias e aspectos gerais sobre flechas em vigas de concreto armado;
- Verificar através desse levantamento o comportamento de flechas em vigas confeccionadas com concreto e resíduos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 VIGAS DE CONCRETO ARMADO – CONSIDERAÇÕES GERAIS

3.1.1 Definição de viga

A estrutura é um conjunto de elementos organizados para sustentarem o peso e as tensões do corpo todo, enviando as tensões para a fundação. Esses elementos estruturais, são classificados de acordo com a sua forma geométrica e a sua função estrutural ainda podendo ser classificados ainda em elementos lineares ou elementos de superfície.

Os elementos lineares são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados de barra (NBR 6118, 2014). A viga por sua vez, é um elemento linear onde a flexão é predominante.

3.1.2 Classificação/Usos/materiais constituintes

Com o avanço de tecnologias e modelos matemáticos nos materiais, junto com a necessidade de construir com maiores graus de exigências, surge projetos que exigem vigas com vãos maiores e mais esbeltas, com isso, foram criados vários tipos de vigas onde, segundo McCormac e Nelson (2003), as mesmas podem ser classificadas de várias formas, seja pelo material constituinte, forma geométrica na seção, tipos de apoios, e por sua função na estrutura.

3.1.2.1 Material constituinte

- Aço – As vigas em aço podem ser confeccionadas facilmente em vários formatos, e ganham grande utilidade por possuir alta resistência, sendo mais usados em ponte, casas em *Steel Frame*, além de outros, afirma McCormac e Nelson (2003). (FIGURA 1)

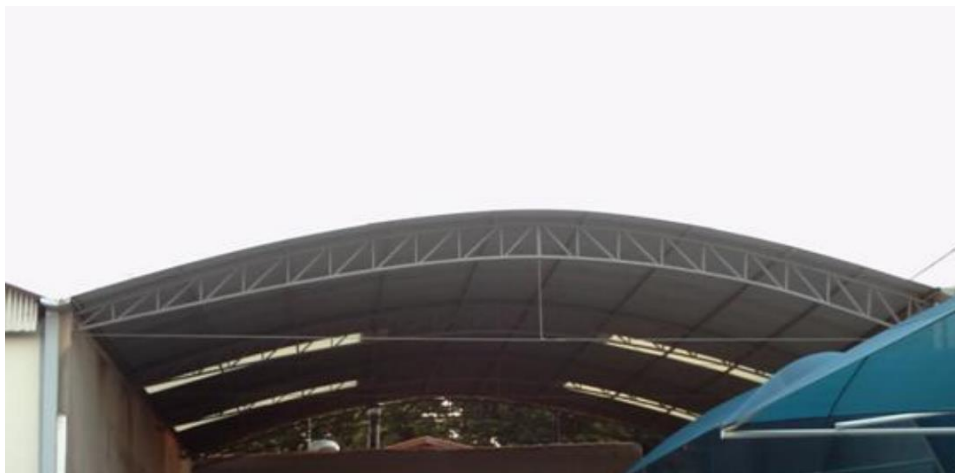


Figura 1: Vigas de aço (SOUZA E RODRIGUES, 2008).

- Madeira – Geralmente, são cortadas no formato retangular, tem boa resistência e são utilizados em alvenarias e coberturas, em casas de madeira e etc, segundo McCormac e Nelson (2003). (FIGURA 2)



Figura 2: Vigas de madeira (SOUZA E RODRIGUES, 2008).

- Concreto armado – Tradicionalmente, são construídas com geometria seccional retangular, e tem grandes usos em casas de alvenaria, e grande utilidade devido a capacidade aderência entre o concreto e o aço (MCCORMAC E NELSON, 2003). (FIGURA 3)



Figura 3: Vigas de concreto e aço (SOUZA E RODRIGUES, 2008).

- Outros – As vigas podem conter aditivos que mudem suas características para alcançarem outras propriedades para assumirem determinadas funções, ou melhorar sua eficiência para o objetivo a qual foi projetada, normalmente são utilizadas em pesquisas e em projetos a qual promovam a ideia de acrescentar esses elementos. Alguns desses exemplos é a fibra, e as taliscas de bambu (MCCORMAC E NELSON, 2003).

3.1.2.2 Forma geométrica da seção

As vigas são confeccionadas de vários formatos, para atenderem algumas das necessidades que surgem em projetos. As mesmas podem ser classificadas em vigas de perfil quadrado, retangular, circular, perfil T, perfil H, Perfil I entre vários outros. Na Figura 4 alguns tipos de geometria de seções transversais de vigas.

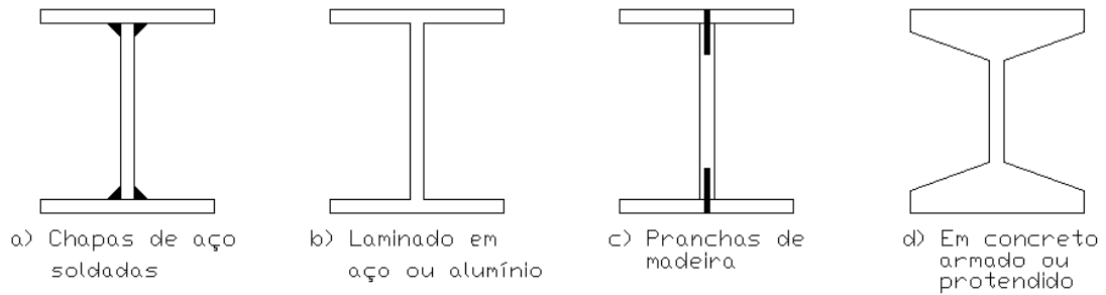


Figura 4 : Geometria da seção das vigas (SOUZA E RODRIGUES, 2008).

3.1.2.3 Classificação pelo tipo de apoio

As vigas também podem ser classificadas pelo tipo de apoio as quais estão sujeitas, esses apoios podem ser do primeiro gênero, onde a reação é somente na vertical, segundo gênero, que tem na vertical e horizontal, e terceiro gênero, com reações na vertical, horizontal, e faz gerar um momento no ponto onde tem o engaste (HIBBELER, 1990?), tornando a viga isostática, que segundo Hibbeler (2011) é quando o número de equações coincidem com o número de reações, ou hiperestática, que o número de reações é maior que o número de equações.

As vigas isostáticas são classificadas como mostra a Figura 5, onde podem ser simplesmente apoiadas, com apoios do primeiro e segundo gênero nas extremidades (a), simplesmente apoiadas com apoios do primeiro e segundo gênero com um dos apoios no vão da viga e a outra na extremidade (b), viga em balanço com apoio do terceiro gênero na extremidade da viga (c).

Vigas Isostáticas:



Figura 5 : Apoios de vigas isostáticas (HIBBELER, 2011).

Os elementos lineares denominados de vigas, quando hiperestáticas, são classificados como viga contínua, onde existem apoios do primeiro gênero em uma das extremidades, e outro apoio do segundo gênero na outra extremidade, além disso, recebe um apoio no entre o comprimento longitudinal do vão (a), quando apoiada com um apoio do terceiro gênero e um

apoio do segundo, ambas nos limites longitudinais, são classificadas como apoiada engastada (b) e se apoiadas em ambos lados com apoios do terceiro gênero, são denominadas de bi engastada (c)(FIGURA 6).

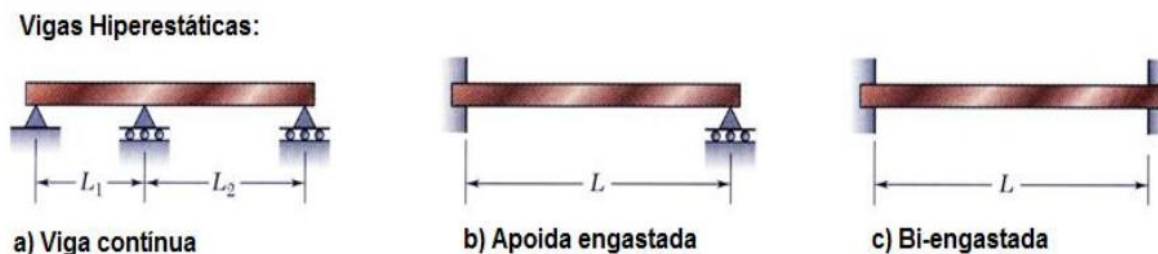


Figura 6: Apoios de vigas hiperestáticas (HIBBELER, 2011).

3.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E CÁLCULO

O dimensionamento de vigas de concreto armado, se dá devido aos esforços ao quais estarão sujeitas, a resistência do concreto e o tipo de aço a ser utilizados na confecção da mesma são analisados separadamente, e a NBR 6118 (2014), traz diversas informações e equações que devem ser utilizadas para projetar de forma econômica e segura.

Neste capítulo é apresentado informações e equações, que se devem respeito as propriedades do concreto e aço, porém, de forma enxuta. As informações, com exceção dos itens 3.3.6 e 3.3.7, foram retiradas do livro, Cálculo e Detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014.

3.2.1 Concreto

Segundo Carvalho e Filho (2014) o concreto é um material composto de água, cimento e agregados e para ser determinado como concreto de alto desempenho, considera-se de forma geral, que contém resistência a compressão igual ou superior aos 50 MPa, além de elevada durabilidade, e para ser obtido geralmente é incorporado aditivos químicos, ou outros elementos que alterem sua resistência e durabilidade.

3.2.2 Concreto armado

Em uma estrutura, existe tensões de compressão e tração, o concreto por sua vez, é muito resistente a compressão, e muito pouco para tração, chegando próximo de 1/10 da resistência da compressão. Com isso, para aumentar a resistência do concreto, foi utilizado o aço, que é utilizado longitudinalmente na seção tracionada da peça, assim, ambos materiais, trabalham juntos devido à alta capacidade de aderência, e o aço, por sua vez é resistente a tração, o que torna a ação conjunta dos dois materiais, satisfatória para a engenharia. (CARVALHO; FILHO, 2014)

3.2.3 Vantagens e desvantagens

O concreto é muito resistente, pode-se adaptar a vários formatos, pode-se ser lançado concreto sobre o concreto já endurecido, é econômico na maioria das vezes, durável se bem utilizado, resistente ao fogo, a choques, vibrações e desgastes mecânicos, além de poder utilizar a pré-moldagem, o que torna a confecção mais rápida e fácil de ser executada.

Porém, é dimensionado com dimensões maiores quando comparado com o aço, peso próprio grande, e em alguns casos, pode elevar bastante o custo da obra, é um bom condutor de calor e som, quando não se faz uso da pré-moldagem, é utilizado um sistema de formas e escoramentos, que devem permanecer no local, até que o concreto alcance a resistência adequada. (CARVALHO; FILHO, 2014)

3.2.4 Norma técnica

Para o uso do concreto, foi feita uma normalização para a confecção, execução e controle das obras e materiais que garante a segurança adequada e a qualidade do produto final, o qual a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou a NBR 6118 com o tema *projeto de estruturas de concreto - procedimento*, que sofreu alterações e a última edição foi em 2014. A ABNT 6181 (2014), aplica-se a estrutura de concreto normal, com massa específica seca maior que 2000 kg/m³, e até 2800 kg/m³. Além dessa norma, pode ser utilizada outras normas, como exemplo a Eurocode, que regulamenta o projeto de concreto. (CARVALHO; FILHO, 2014)

3.2.5 Cálculos e características do concreto

3.2.5.1 Resistência a compressão

A resistência a compressão é a principal característica do concreto, e pode ser influenciado por diversos fatores, entre eles, estão a relação entre a quantidade de cimento, agregados, água, e a idade do concreto. Os valores de resistência, são obtidos em laboratórios, utilizando corpos de prova com dimensões definidas por normas, e a equação utilizada para obter os valores, segundo a NBR 6181 (2014), é apresentada abaixo na Equação 1. (CARVALHO; FILHO, 2014)

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (1)$$

Onde:

f_{cj} Resistência a compressão do corpo de prova de concreto na idade de (j) dias;

N_{rup} Carga de ruptura do corpo de prova

A Área da seção transversal do corpo de prova

3.2.5.2 Resistência a tração

Carvalho e Filho (2014), diz que a resistência a tração não é a principal característica do concreto, pois o concreto é pouco resistente para esse tipo de tensão, mas essa resistência está relacionada com a capacidade resistente da peça sujeitas a esforços cortantes e ao aparecimento de fissuras, daí sua importância, e para calcula-se, é utilizado corpos de provas para ensaios.

Segundo a NBR 6118 (2014) a resistência a tração indireta $f_{ct,sp}$ e a resistência a tração na flexão $f_{ct,f}$, devem ser obtidas em ensaios, e a tração direta pode ser obtida por $0,9f_{ct,sp}$ ou $0,7f_{ct,f}$. Na falta de ensaios, pode ser avaliado o seu valor médio por meio da Equação 2 e Equação 3.

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ct,m} \quad (2)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3f_{ct,m} \quad (3)$$

Onde:

$f_{ctk,inf}$ É a resistência média a tração na parte inferior

$f_{ctk,sup}$ É a resistência média a tração na parte superior

A equação para cálculo depende do tipo de material, que pode ser da classe C50 (EQUAÇÃO 4), ou das classes C50 até C90 (EQUAÇÃO 5), que é classificado de acordo com NBR 8953 (Concreto para fins estruturais- classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistências, 2009).

$$f_{ct,m} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad (4)$$

$$f_{ct,m} = 2,12\ln(1 + 0,11f_{ck}) \quad (5)$$

Onde:

$f_{ct,m}$ É a resistência a tração

Sendo $f_{ct,m}$ e f_{ck} expressos em MPa e $f_{ck} \geq 7$ MPa, o uso de $f_{ctk,inf}$ e $f_{ctk,sup}$ são definidos pela norma de forma particular.

3.2.6 Aço

A norma ABNT NBR 7480 (2007) define os tipos, características e outros itens sobre as barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado. A norma define que todo material em barras, casos como o CA25 (a sigla CA, indica concreto armado, e o número, a categoria, ou seja, a resistência de escoamento mínima, em kN/cm²) e CA50, devem ser fabricados por laminação a quente, e que todos os fios, característicos do CA60, devem ser fabricados por trefilação ou processo equivalente, com estiramento ou laminação a frio.

3.2.7 Características do aço

A resistência características de escoamento do aço à tração (f_{yk}) é a máxima tensão que a barra ou o fio devem suportar, pois até este valor de tensão, se o ensaio for interrompido, o aço volta a forma original, após esse valor, sofre deformações permanentes. (CARVALHO; FILHO, 2014)

Segundo os autores, limite de resistência (f_{stk}) é a força máxima suportada pelo material, ou seja, o ponto máximo de resistência do material, sendo seu valor obtido pela

leitura direta na máquina de tração. Para determinação é utilizado a relação de força de ruptura e a área da seção transversal inicial da amostra.

Alongamento na ruptura é o aumento do comprimento do corpo de prova correspondente à ruptura, ou seja, é o alongamento do aço em uma seção geralmente no meio da barra, até o rompimento, o valor obtido é expresso em porcentagem, e pode ser calculado pela Equação 6.

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100 \quad (6)$$

Onde:

l_0 Comprimento inicial

l_1 Comprimento final

ε Deformação no local da ruptura

3.2.8 Cálculo da armadura longitudinal em vigas sob flexão normal

Para o cálculo da quantidade de armadura longitudinal, para seções transversais retangulares, é necessário conhecer a resistência do concreto (f_{ck}), a largura da seção (b_w), a altura útil (d) e o tipo de aço (f_{yd} e ε_{yd}), com isso, pode-se partir do equilíbrio das forças atuantes na seção.

A norma fala que quanto menor for x/d , maior será a capacidade de rotação dos elementos estruturais, onde a mesma, é função da posição da linha neutra no Estado limite último (ELU). Assim, para o melhor comportamento dúctil em vigas e lajes, a posição da linha neutra no ELU deve obedecer aos seguintes limites:

$$x/d \leq 0,45 \text{ para concretos com } f_{ck} \geq 50 \text{ MPa} \quad (7)$$

$$x/d \leq 0,35 \text{ para concretos com } 50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (8)$$

Onde:

x Profundidade da linha neutra

d Altura útil

Abaixo, é apresentado um quadro onde mostra as equações finais, para o dimensionamento do aço, após os equacionamentos para o concreto de classe até CA50 (QUADRO 1) e para concreto de qualquer classe (QUADRO 2).

Equilíbrio da seção	$M_d = f_s z$	
Posição da linha neutra (x)	$x = \frac{0,68d \pm \sqrt{(0,68d)^2 - 4 * 0,272 * (\frac{M_d}{B_w f_{cd}})}}{0,544}$	
Área necessária da armadura	$A_s = \frac{M_d}{z f_{yd}}$	
Verificação do domínio em que a peça atingirá estado limite último	Relação entre deformações	Posição da linha neutra
	$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s}$	$\frac{x}{d} = \frac{0,0035}{0,0035 + \varepsilon_s}$

Quadro 1: Equações para concreto até a classe CA50 (CARVALHO; FILHO, 2014).

Equilíbrio da seção	$M_d = f_s z$ e $f_s = (a_c f_{cd})(b_w)(\lambda x)$
Posição da linha neutra (x)	$x = \frac{d \pm \sqrt{d^2 - 2(\frac{M_d}{B_w a_c f_{cd}})}}{\lambda}$
Área necessária da armadura	$A_s = \frac{M_d}{z f_{yd}}$
Verificação do domínio em que a peça atingirá estado limite último	$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s}$

Quadro 2: Equações para o concreto de qualquer classe (CARVALHO; FILHO, 2014).

3.2.9 Dimensionamento do concreto e aço

Para dimensionar a viga, é necessário definir valores para as propriedades do concreto, e para isso, foi feito um quadro, onde é apresentado as equações que podem ser utilizadas para encontrar tais resultados, a norma apresenta diversas equações por isso, apenas algumas serão apresentadas no Quadro 3 para que possam ser analisadas de formas resumidas.

Resistência a compressão do concreto	$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A}$
Resistência a tração inferior do concreto	$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$
Resistência a tração superior do concreto	$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m}$

Resistencia média à tração do concreto de classe até CA50	$f_{ct,m} = 0,3f_{ck}^{2/3}$
Resistencia média à tração do concreto de classe CA50 até CA90	$f_{ct,m} = 2,12\ln(1 + 0,11f_{ck})$
Modulo de elasticidade secante (essa equação muda para cada classe do concreto)	$E_{cs} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

Quadro 3: Equações para defini valores das propriedades do concreto (CARVALHO; FILHO, 2014).

3.2.10 Vão efetivo da viga

A norma define que o cálculo do vão efetivo pode ser calculado pela expressão:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (9)$$

Onde:

- a_1 Valor expresso em unidade de distancia
- a_2 Valor expresso em unidade de distancia
- l_0 A distância mais próxima dos apoios
- t_1 Largura do primeiro pilar de apoio
- t_2 Largura do segundo pilar de apoio
- h Altura da viga

Sendo a_1 igual ao menor valor entre $(\frac{t_1}{2}$ e $0,3h$) e a_2 igual ao menor valor entre $(\frac{t_2}{2}$ e $0,3h$).

As dimensões de l_0 , h , t_1 e t_2 , estão representadas na Figura 7.

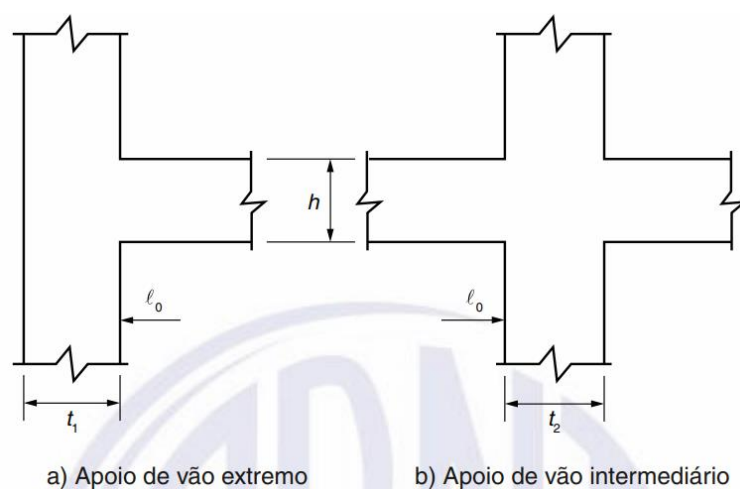


Figura 7: Vão efetivo (NBR 6118, 2014).

3.2.11 Altura e Largura

Para o dimensionar as vigas, devem ser respeitadas os limites, onde segundo a ABNT 6118 (2014) “a seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm e a das vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições: “, essas condições são mostradas abaixo.

- a) alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos estabelecidos nesta Norma;
- b) lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931.

A altura pode ser dimensionada de 5 em 5 cm, de forma que em vigas contínuas, a altura dos vãos será padronizada, evitando alturas diferentes. A altura mínima indicada é de 25cm. (NBR 6118, 2014)

3.3 FLECHA EM VIGAS

3.3.1 Definição

Segundo Gere, Weave (1987) *apud* Barbosa (2010) “Em uma estrutura que está solicitada por forças, os seus membros sofrem deformações e deslocamentos, isto é, os pontos dentro da estrutura deslocam-se para novas posições, com exceção dos pontos de apoios não deslocáveis” ou seja, a flecha é o deslocamento do eixo longitudinal, com a linha de origem da viga (FIGURA 8).

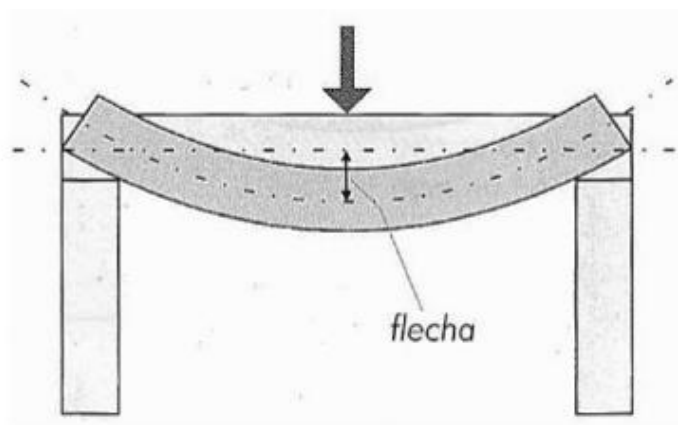


Figura 8: Deslocamento da linha neutra (GOOGLE, 2018)

3.3.2 Obtenção de flechas em vigas

Com o desenvolvimento tecnológico, e a evolução dos tipos de materiais, os métodos de cálculos, ganharam softwares que ajuda o projetista na hora de obter os valores dos limites últimos. Esses cálculos utilizam diversos fatores, como exemplo, o método de Bernoulli-Euler, onde deve ser feito diversas considerações, alguns deles é: simetria plana, seção transversal constante, onde apenas a energia de flexão é considerada e as demais são desprezadas, entre outros. (COELHO, 2011)

Os outros métodos também fazem diversas considerações, assim como também necessita de mais dados, como exemplo a temperatura média a qual a viga vai ficar exposta, vida útil do material e etc.

A norma NBR 6118 (2104) recomenda utilizar a Equação 10 para prever a flecha em vigas, de forma imediata ou instantânea, sem o efeito de fluência.

$$a = \frac{\alpha_c p l^4}{(ei)_{eq}} \quad (10)$$

Onde:

- p Carga definida por certa combinação ou quase permanente
 l Vão da viga
 α_c Coeficiente que depende da condição estática do sistema considerado e do tipo de ações atuantes

Considerando o efeito da fluência, ou seja, as deformações que surgem ao longo do tempo devido a tensão constante, as flechas podem ser calculadas de maneira aproximada, pela multiplicação da flecha imediata (flecha que surge no momento de aplicação dos esforços) por um fator α_f dado por:

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1+50\rho'} \quad (11)$$

Onde:

- $\rho' = \frac{A_s}{bd}$ O valor de ρ' será considerando no vão de forma análoga ao cálculo de I_{eq}
 A_s Área da armadura de compressão no trecho considerado
 ξ coeficiente função do tempo, sendo $\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0)$
 $\xi(t) = \begin{cases} 0,68 * 0,996^t * t^{0,32} & \text{para } t \leq 70 \text{ meses} \\ 2 & \text{para } t \geq 70 \text{ meses} \end{cases}$
 t Tempo, em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida
 t_0 Idade em meses, referente a data de aplicação da carga de longa duração. Se as cargas aplicadas forem de idades diferentes, considera-se a equação $t_0 = \frac{\sum p_i t_{0i}}{\sum p_i}$
 p_i Parcelas de carga
 t_{0i} Idade em meses de cada parcela

O valor da flecha em tempo infinito (a_{tw}) será $(1 + \alpha_f)$ vezes a flecha imediata, como mostra a Equação 12.

$$a_{tw} = a_{t0}(1 + \alpha_f) \quad (12)$$

Onde:

- a_{t0} É a flecha imediata
 a_{tw} Valor da flecha em tempo infinito
 α_f Fator utilizado para multiplicar pela flecha imediata, calculado na Equação 11

A deformação devido a fluência tem sua importância quando se trata de flechas, não podendo ser desprezada, pois a viga solicitada por esse tipo de esforço, pode atingir até o triplo do valor da flecha imediata.

3.3.3 Danos decorrentes de mal dimensionamento de vigas

O mal dimensionamento das vigas causa diversas patologias e transtornos pra quem usa dos benefícios dos mesmos, pois uma viga nessas condições, apresenta fissuras, decorrente de flechas excessivas, causa sensação de insegurança, e a viga, torna-se menos esbelta, podendo também comprometer outros componentes da estrutura, além disso, no caso de viga de sustento em cima de esquadrias de portas e janelas, podem fazer com que os mesmo, não sejam possíveis ser usados, pois causa o emperramento devido ao deslocamento vertical.

No pior dos casos, a viga pode chegar a ruptura, e causando um acidente grave. A viga mal dimensionada, também causa uma diferença no orçamento da obra, no caso de ser dimensionada excessivamente, a construção, se torna mais pesada, o que causa maiores tensões em elementos de suporte da mesma.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Pesquisa exploratória, onde tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema. Pesquisa bibliográfica, uma vez que é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros, artigos científicos, etc.

A coleta de dados será por meio de pesquisas bibliográficas, como dissertações, artigos científicos, livros etc utilizando as palavras chave: flechas, comportamento de vigas, formas de cálculo e outras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo teórico geral sobre flechas no elemento estrutural do tipo viga. Desta forma, foram definidos alguns objetivos específicos como descritos no Cap. 2 deste trabalho. Para tal, levantou-se uma quantidade de trabalhos acadêmicos, dissertações, teses e artigos científicos sobre estudo de flechas. A seguir serão descritos esses levantamentos.

5.1 Estudo de Filho *et. al.* (2011)

Filho *et. al.* (2011), analisaram o comportamento estrutural de vigas de concreto armado submetidas a carregamentos cíclicos, através de análise numérica e experimental, assim foi possível quantificar o crescimento das flechas dessas vigas quando submetidas a ciclos de carga repetida. O modelo utilizado levou em conta o acréscimo de dano em função do aumento do número de ciclos, podendo assim avaliar a perda de rigidez das vigas decorrente das ações repetidas.

Os autores, realizaram ensaios afim de determinar a perda de rigidez decorrente da aplicação dos ciclos de carga, por meio da medição de deslocamentos verticais e da deformação nas armaduras e no concreto comprimido. Foi utilizado uma prensa com capacidade de 500kN [FIGURA 9], em 7 vigas, moldadas com tamanho reduzido, de seção transversal retangular e do tipo “T”, as cargas cíclicas são repetitivas até a ruptura [FIGURA 10].



Figura 9: Prensa Hidráulica com capacidade de 500kN (FILHO *et. al.*, 2011).



Figura 10: Vigas de tamanho reduzido após ensaio (FILHO *et. al.*, 2011).

As vigas foram separadas em 3 grupos, dois grupos com 3 vigas de seção transversal retangular, e o 3º grupo com uma viga do tipo “T”. Os dois primeiros grupos se diferem no volume de armação, pois o grupo 2, tem vigas com armadura dupla. A armadura utilizada, é aço CA-50 com diâmetros de 4,2mm, 5,0mm e CA-60, de diâmetro igual a 6,3mm e 10mm, o concreto por sua vez, possui resistência média padrão de 3,20MPa, resistência a compressão de 40,13 MPa, módulo de elasticidade secante de 26781MPa, . O modelo teórico utilizado, deriva de trabalhos aplicáveis a estruturas lineares de concreto armado submetidas predominantemente a flexão. Para a análise, foi comparado os resultados experimentais com resultados teóricos de outros autores.

Foi possível observar que vigas com menores taxas de armação, apresentaram números de flechas maiores que as demais. O modelo utilizado da não-linearidade elástica, foi capaz de simular a perda de rigidez não somente em função dos esforços solicitantes, mas também em para os carregamentos cíclicos repetidos. Porém, o modelo não considera o acúmulo das deformações residuais no concreto e nas armaduras ao longo dos ciclos de carregamento.

5.2 Estudos de Deghenhard e Vargas (2013)

Deghenhard e Vargas (2013) avaliaram experimentalmente a capacidade portante de vigas de concreto armado sujeitas a flexão, com reforço metálico de chapas de aço SAE 1020 com espessuras diferentes e coladas com adesivos estrutural epóxi na face tracionada das

vigas. As vigas foram divididas em 4 grupos onde foram realizadas duas análises, a primeira avaliando o deslocamento vertical máximo permitido por norma ($L/250$) e a segunda avaliou o deslocamento vertical no momento da ruptura.

Para realizar os ensaios, uma viga foi reforçada com aço SAE 1020 na espessura (0,75mm), em seguida foi submetida à flexão em 4 pontos, permitindo assim que fosse avaliado o sistema de aplicação concreto-resina-aço, evitando imprevistos para os próximos ensaios. Numa segunda fase, 3 grupos receberam reforços com aço SAE 1020 na face tracionada e cada grupo com espessura diferentes, 0,75mm, 1,50mm, e 2,25mm. O último grupo não recebeu reforço, pois o mesmo tinha a função de servir como referência na comparação. Além da análise à flexão em 4 pontos, foram feitos ensaios complementares, como o *slump-test* (abatimento de tronco de cone), o qual confirma se o concreto está de acordo com o solicitado por norma. A Figura 11 apresenta o fluxograma para a realização dos ensaios.

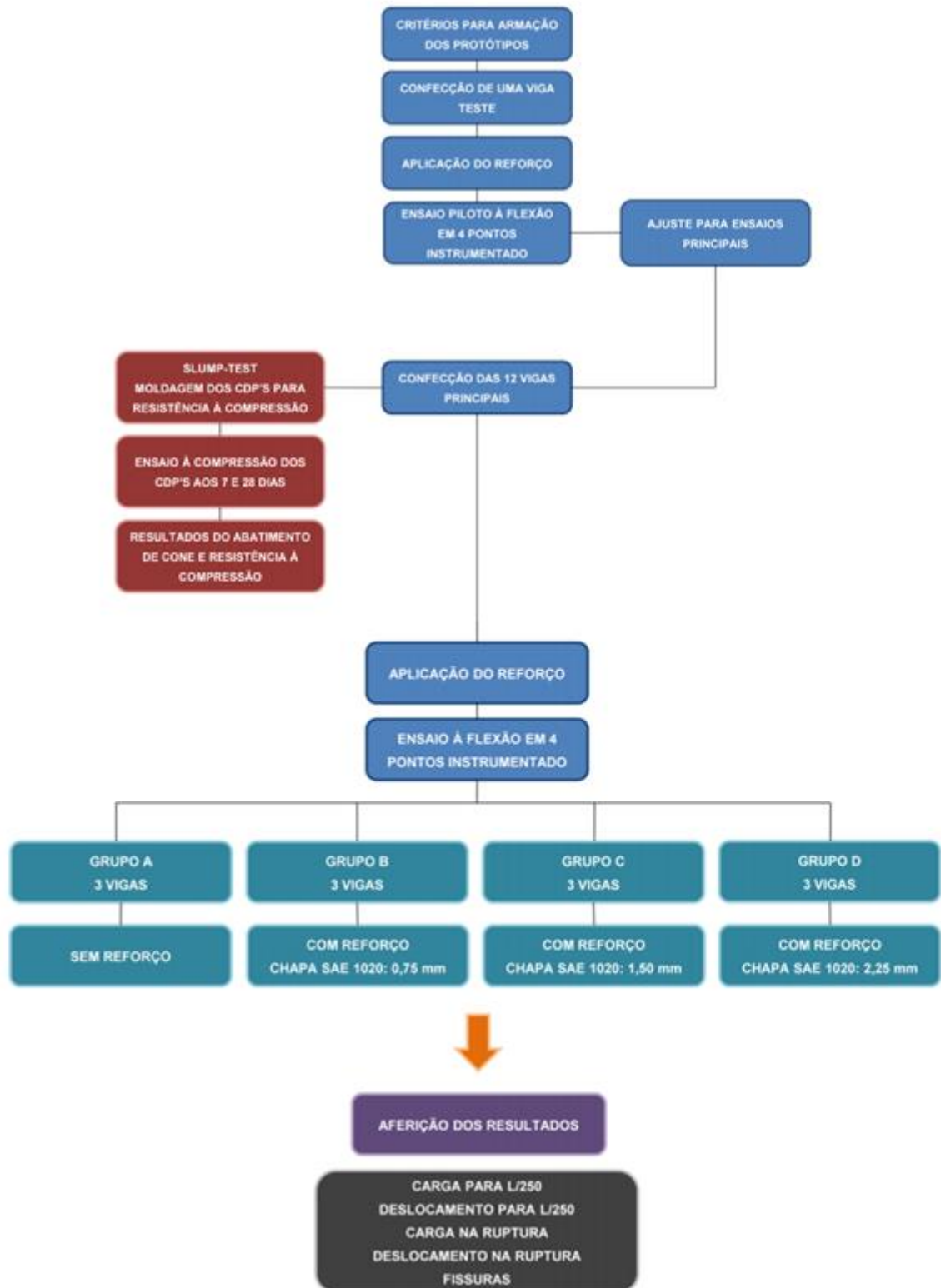


Figura 11: Fluxograma do procedimento experimental (DEGHENHARD, 2013).

As vigas foram dimensionadas de acordo com a NBR 6118:2007, considerando a resistência de 25MPa e aço CA-50, contém a área transversal de 1,6cm² e duas barras de aço com 10mm de diâmetro. Todos os ensaios foram realizados em laboratórios com a ajuda de um cilindro hidráulico com capacidade de 500kN, com as vigas ligadas ao sistema de aquisição de dados Quantum X® que utiliza o *software* Catman Easy®. A Figura 12 demonstra a posição das chapas de aço, o cilindro da prensa hidráulica e a localização dos pontos analisados.

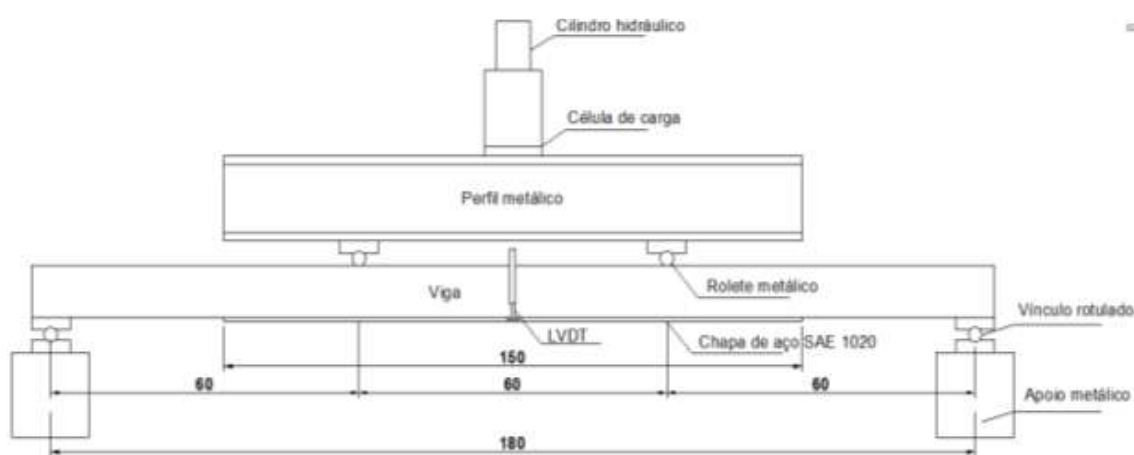


Figura 12: Posicionamento dos elementos no ensaio instrumentado de 4 pontos (CAROLINE CROZETA DEGHENHARD, 2013).

Após os ensaios, os autores realizaram comparações e chegaram as seguintes conclusões. O reforço aumenta a capacidade de compressão. Constatou-se que existe um acréscimo significativo no deslocamento vertical máximo e de ruptura em relação a vigas sem reforços, porém a relação mm versus kN é decrescente, ou seja, a resistência diminui com o aumento da espessura, devido que as tensões não são totalmente transmitidas para o aço, ou seja, a tensão tem um limite para ser transmitida. Com isso, as vigas reforçadas com aço SAE 1020 de espessura 0,75mm, foi a que apresentaram melhor eficiência. Por fim os autores concluíram que a aplicação do reforço é de forma fácil e rápida, apresentando boa eficiência e resultando no aumento da capacidade portante das vigas sujeitas a flexão.

5.3 Estudos de Caetano (2014)

Caetano (2014) procurou desenvolver uma ferramenta analítica de fácil utilização para analisar a capacidade resistente de vigas fissuradas, a fim de estimar o momento ultimo em

que as mesmas entrarão em colapso a partir da primeira fissura, assim como o objetivo de integrar e simplificar os conhecimentos adquiridos em laboratórios. Foi avaliado o comportamento das vigas, as características das fissuras de flexão associadas as cargas aplicadas, assim como estabelece critérios qualitativos para o grau de risco de colapso em função do comprimento da primeira fissura e da capacidade resistente.

O autor fez um levantamento bibliográfico, e ressalva algumas manifestações patológicas, fissuras e avaliações em estruturas de concreto armado, avaliação e previsão de vida útil, dimensionamento e verificação do momento máximo resistente. Dentre os trabalhos analisados, foram extraídas algumas equações para definir valores para o momento último e o momento de fissuração, pois a diferença dos mesmos, é a definição da capacidade resistente das vigas logo após a primeira fissura. As normas de projetos estrutural descrevem ainda o momento de fissuração de outras formas: NBR 6118 (ABNT, 2014), CEB-FIP MC2010 (CEB, 2010). Para validação da hipótese, foram analisados 18 ensaios de vigas, de 11 pesquisadores diferentes, entre artigos e teses de mestrado e doutorado, realizados entre os anos de 2002 e 2009.

Para determinação do dimensionamento e verificação do momento máximo resistente em vigas de concreto amado, foram considerados inicialmente, a razão entre a tensão limite e a admissível, como fator de segurança. Para os ensaios, foram considerados algumas hipóteses, a primeira mostra que a distribuição das deformações ao longo da altura de uma viga é essencialmente linear, a segunda diz que o concreto e a armadura devem atuar em conjunto, na terceira hipótese, o carregamento atuante na viga é adequadamente equilibrado pelo momento fletor resistente calculado utilizando as curvas teóricas tensão x deformação do concreto e da armadura (BORGES, 2002 apud CAETANO, 2014).

Os resultados obtidos em relação ao momento de fissuração, é que o modelo apresentado se mostrou em alguns momentos perigoso e em outros instantes conservador, assim como os modelos apresentados por normas, porém o modelo indicado na NBR 6118 (ABNT, 2014), foi o que se demonstrou mais conservador. O modelo apresentado pelo autor para análise de momento de ruptura, possui ótima precisão e eficiência. Para a análise de capacidade resistente, o modelo mais eficiente foi o que considerou a diferença entre o momento de ruptura e o momento de fissuração.

Conclui-se que a hipótese se tornou válida, e pode-se ser utilizada como mais uma ferramenta por profissionais envolvidos no campo da engenharia pois fornece informações importantes sobre a capacidade resistente residual desses elementos, bem como serve de indicativos para se estimar a vida útil da estrutura, estado patológico da mesma e necessidade

de intervenção. Ficou disponível um fluxograma que ajuda a determinar a posição da linha neutra, tensões e deformações nas armaduras, além do momento último.

5.4 Estudos de Contadini (2014)

Contadini (2014) fez a análise teórica e experimental do comportamento de vigas de alvenaria estrutural armada sujeita a flexão simples, para isso utilizou 18 vigas de alvenaria compostas por canaletas e blocos de concreto, e estudou de forma a entender o comportamento da seção transversal mais solicitada e as ocorrências dos estados limites de serviço e últimos, comparando os resultados com as normas NBR 6118 (ABNT, 2007) e NBR 15961-1 (ABNT, 2011). O autor também comparou com outros trabalhos que tentaram entender melhor o comportamento de vigas quando sujeitas a fissuração e ruptura, utilizando o método de dimensionamento e deformação sofridas no decorrer dos ensaios.

As vigas confeccionadas têm resistência a compressão de 22MPa, aço CA-50 com o perfil transversal apresentado na Figura 13.

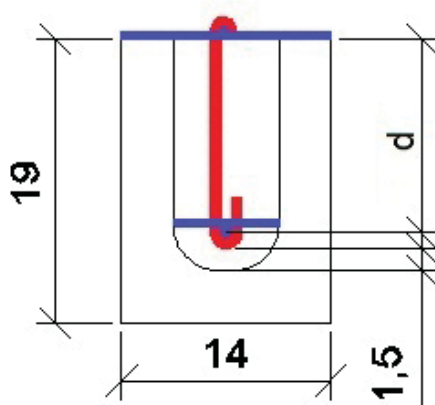


Figura 13: Perfil transversal da viga (CONTADINI, 2014).

Ao final as vigas possuem armação com espaçamento de 7,5cm que tem diâmetro de 6,3mm feito de aço CA-50 (FIGURA 14). As vigas são constituídas com graute, como mostra a Figura 15.



Figura 14: Resultado final da armação (CONTADINI, 2014).



Figura 15: Preenchimento com graude (CONTADINI, 2014).

Para análise foram utilizados extensômetros em placas de pvc, transformador diferencial variável linear (LVDT), 2 relógios comparadores, 1 de cada lado da viga para obtenção da flecha. As vigas eram bi-apoia com dois pontos de aplicação distantes 30 cm do meio do vão teórico de 300cm.

Por fim, o autor conclui que o modelo de cálculo de vigas submetida a flexão utilizado pelas NBR 6118 (ABNT, 2007) e NBR 15961-1 (ABNT, 2011), chegam a valores satisfatórios de momento último, comparado com os obtidos experimentalmente, porém, os coeficientes de minoração das resistências propostos pela NBR 15961-1 (ABNT, 2011), fornece valores de momento último até 3 vezes menor. Foi feita a observação que o nível de

carregamento em que as vigas atingiram o ELS de deslocamento excessivo ficou entre 120kN e 180kN.

5.5 Estudos de Bandini (2015)

Bandini (2015), considerou a não-linearidade física no cálculo de flecha em vigas de concreto armado, onde obteve os resultados por procedimentos numéricos desenvolvidos e comparou com valores experimentais extraídos da literatura, e completa fazendo a comparação com os procedimentos analíticos adotados pelas normas ABNT NBR 6118 (2014) e Eurocode 2 (2004).

O procedimento numérico utilizado no trabalho foi FLECHA-0 e FLECHA-T para o cálculo de flecha imediata e total (Figura 16), respectivamente, em vigas bi-apoiadas de seção retangular de concreto armado. Considerando a não-linearidade, analisou-se a seção transversal, dividida em camadas de concreto e elementos discretos da armadura de aço, obtendo os valores através da integração das tensões na área, enfim obtém a flecha imediata utilizando o método numérico FLECHA-0.

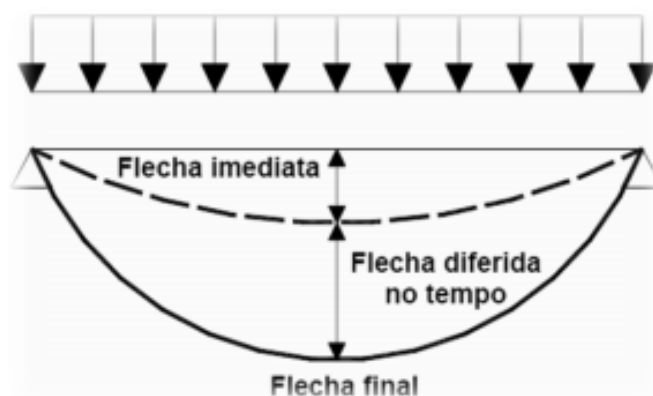


Figura 16: Flecha imediata mais flecha diferida no tempo (GOOGLE, 2018).

A flecha final foi calculada através do método, considerando os efeitos de fluência e retração, encontrando-se a curvatura. Para encontrar a curvatura devido a fluência, utilizou-se modelos propostos pelo Eurocode 2 (2004), e sugere que o momento de inércia seja calculado pelo método de Bischoff (2005) e por fim considera a expressão **de Ruiz, Dutari e Escribano (2009)** para cálculo do momento de fissuração. Para a curvatura induzida por retração, utiliza a deformação específica por idade, altura total da seção transversal e a altura útil referente a armadura tracionada. Conhecida as curvaturas pode-se realizar a sobreposição de efeitos.

Bandini (2015), demonstrou os modelos propostos pela ABNT NBR 6118 (2014) e Eurocode 2 (2004) e os comparou, apresentando os itens que a norma não cita e sugere alternativas. Para os procedimentos numéricos Bandini (2015) utiliza a ferramenta computacional *software Wolfram Mathematica® 8.0*, seguindo o seguinte fluxograma para os devidos cálculos do modelo FLECHA-0 (Figura 17), e o modelo FLECHA-T (Figura 18).

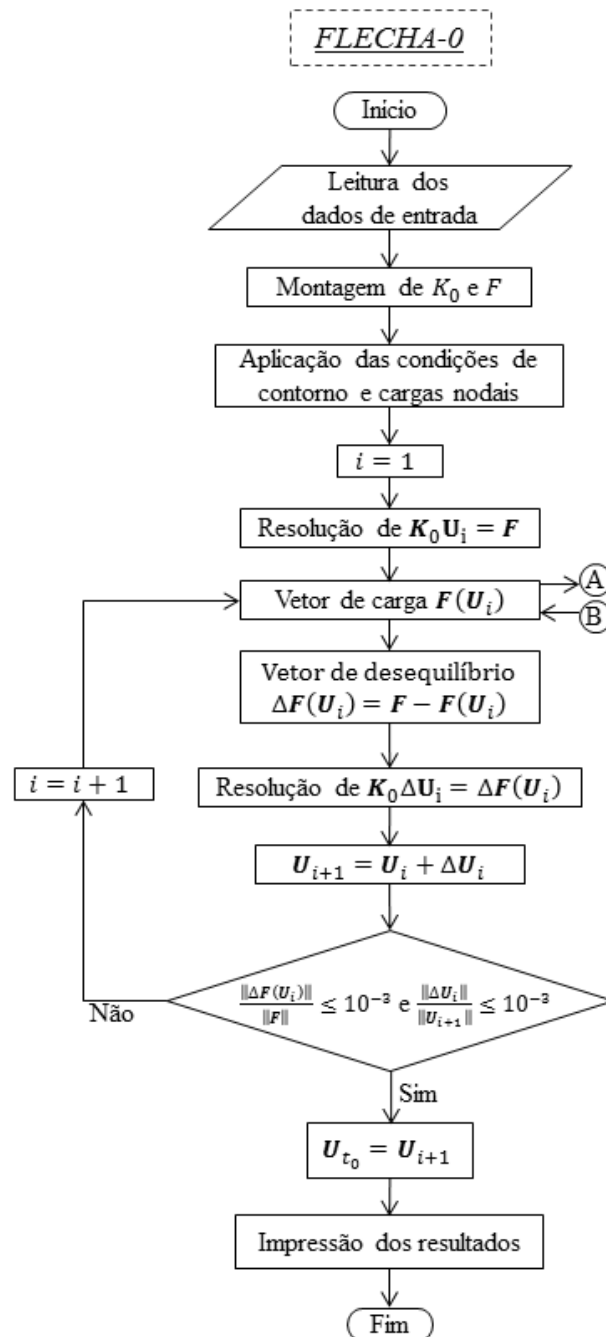


Figura 17: Fluxograma do procedimento numérico FLECHA-0 (BANDINI, 2015).

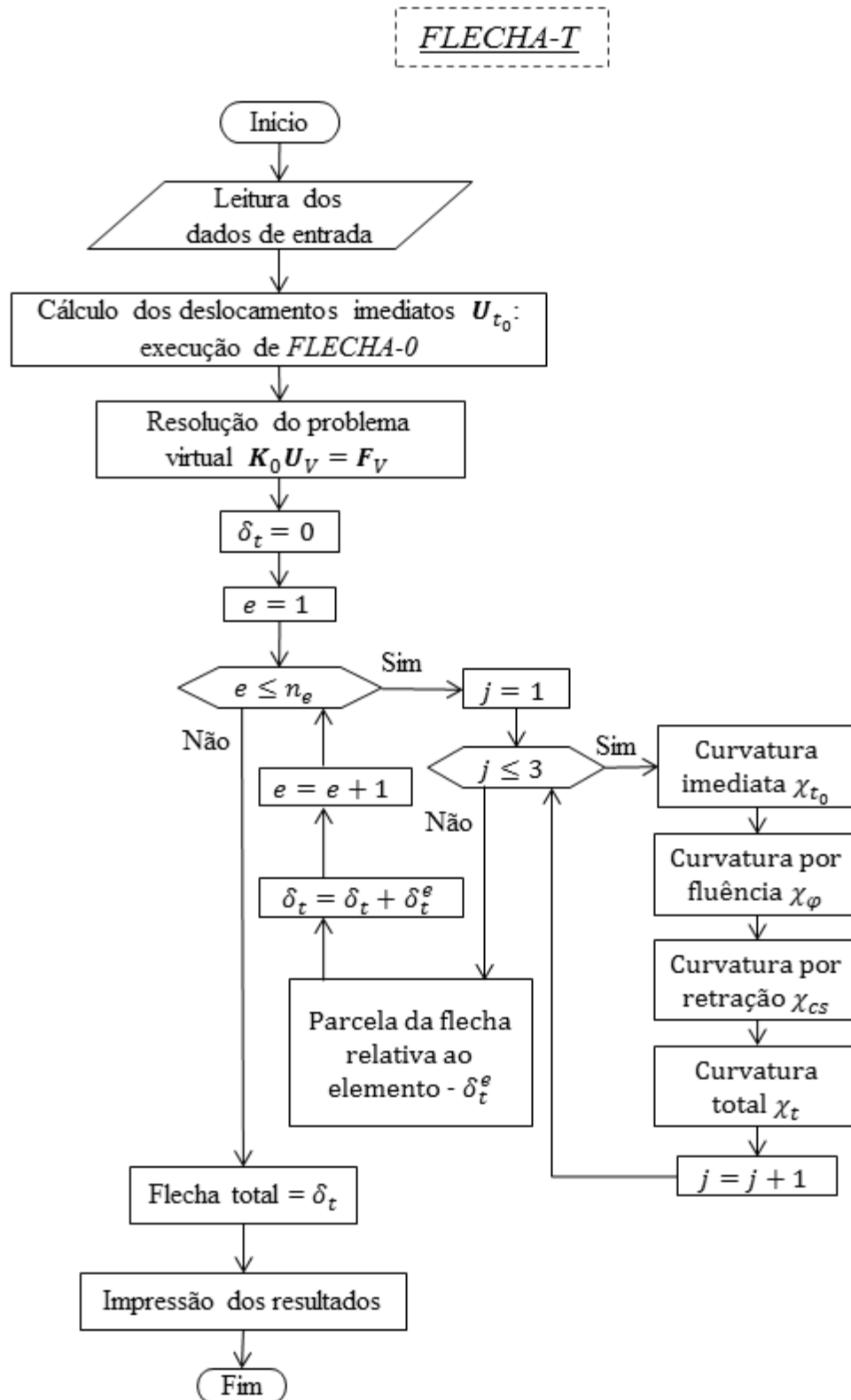


Figura 18: Fluxograma do procedimento numérico FLECHA-T (BANDINI, 2015).

Com o intuito de flecha imediata, conclui que o modelo FLECHA-0 e os modelos propostos pelas normas ABNT NBR 6118 (2014) e Eurocode 2 (2004) são satisfatórios comparando com os modelos experimentais, porém a norma brasileira comparada com o modelo experimental de Piancastelli (1997), para os valores de flecha imediata no Estádio II, são significativamente inferiores.

Para a análise de flecha final o modelo FLECHA-T que se baseou na formulação proposta por Gilbert (2011), comparado com modelos experimentais, ao final obteve-se resultados aceitáveis e erros relativos na estimativa de flecha final. Ao se comparar com os modelos das normas ABNT NBR 6118 (2014) e Eurocode 2 (2004) obteve-se resultados satisfatórios, porém, a norma brasileira constatou diferenças significativas em relação a vigas do tipo “b” ensaiadas por Gilbert e Nejadi (2004). Por fim, concluiu que os modelos propostos por ele, FLECHA-0 E FLECHA-T, atenderam o objetivo de calcular flechas para cargas de serviço de curta e de longa duração em vigas de concreto armado, levando em consideração os efeitos da não linearidade física.

5.6 Estudos de Ferreira (2015)

Ferreira (2015) observou a carência nos estudos de dimensionamentos de elementos feitos de concreto leve, os mesmos possuem diferentes propriedades físicas e mecânicas quando comparados aos concretos convencionais, assim, surge critérios especiais de dimensionamento. Dentre os estudos realizados nas normas brasileiras, internacionais, e literatura bibliográfica, a autora compara casos de dimensionamentos de vigas, lajes e paredes em quatro tipos de concreto leve.

A autora, faz um levantamento das principais características do concreto celular, e com agregados, e apresenta as propriedades mecânicas dos concretos leves, essas propriedades se referem a resistência a compressão, resistência a tração, e modulo de deformação.

Os dimensionamentos foram feitos em concreto convencional, concreto celular estrutural e concreto leve com argila expandida. Para isso, o autor seguiu alguns critérios apresentados em normas, para elaboração dos exemplos comparativos de vigas e lajes, foi considerado o concreto celular estudado por Cortelassi (2005) e o concreto leve com argila expandida estudado por Pereira (2008). Os resultados das propriedades são apresentados na Figura 19.

Propriedades	Concreto celular 1	Concreto celular 2	Concreto leve com argila expandida	Concreto convencional
Massa específica (kg/m ³)	1874	1720	1740	2400
Resistência à compressão (MPa)	25,18	14,51	22,16	25,00
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	1,90	0,75	2,32	2,50
Módulo de deformação (GPa)	20,09	14,55	17,14	23,80
Fonte	Cortelassi (2005)	Cortelassi (2005)	Pereira (2008)	NBR 6118 (2014)

Figura 19: Propriedades do concreto celular, concreto celular estrutural, concreto leve com argila expandida e concreto convencional (FERREIRA, 2015).

Para vigas sujeitas a flexão simples, com concreto leve, segundo a EUROCODE 2 (1999), pode-se considerar as mesmas hipóteses do concreto convencional. Para o dimensionamento das peças em concreto celular, foi considerado o diagrama tensão x deformação de estudos bibliográficos (FIGURA 20).

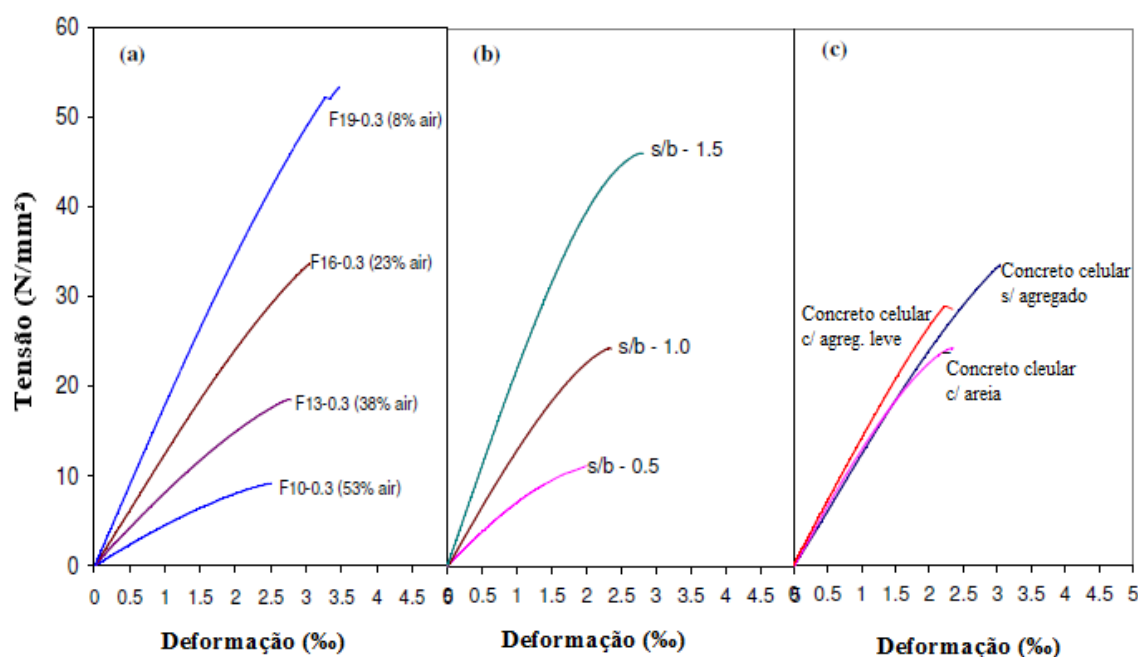


Figura 20: Diagrama tensão x deformação de estudos bibliográficos (FERREIRA, 2015).

Para verificação da flecha em longo prazo, foi empregado o método previsto na NBR 6118 (2014) tanto para as peças de concreto convencional quanto para as de concreto leve.

As vigas analisadas são bi-apoiadas de seção retangular, vãos de 2m, 4m e 6m, com cargas atuantes de forma permanente igual a 8kN/m, acidental igual 2kN/m e o peso próprio. As vigas de 2 e 4m de vão, contém a mesma seção retangular, a última viga de 6m de vão contém a seção retangular maior.

Para finalizar, a autora conclui que a principal vantagem de usar o concreto leve, está na redução de peso próprio das estruturas, porém, observou na revisão bibliográfica que o concreto celular e o concreto leve com argila expandida apresentam um desempenho superior ao concreto convencional quando se trata de conforto térmico. Ferreira (2015) afirma que o dimensionamento a flexão de elementos feitos com esse material pode seguir critérios semelhantes aos do concreto convencional, porém, o mesmo não acontece para o concreto celular, pois observa-se uma carência de normas e pesquisas.

As peças com concreto celular, apresentaram as maiores seções de concreto no final dos dimensionamentos, mas, ainda manterão seu peso próprio reduzido em relação ao concreto convencional. Essa diferença nas dimensões, se dá por possuírem baixas resistências a tração direta do concreto celular, o que resultou em momentos de fissuração bem menores do que os demais concretos, e afetou diretamente a verificação das flechas finais.

5.7 Estudos de Teles (2015)

Afim de melhorar a compreensão sobre a ação de proteção externas em vigas de concreto armado, Teles (2015), revisa normas e metodologias propostas por literatura que apresentam o procedimento para obtenção da variação de tensão nos cabos externos. Além disso, o autor utiliza a assistência de programa para estimar as tensões nos cabos e as flechas das vigas, o programa permite a análise da estrutura em serviço, ou em estado de limite último, considerando a não-linearidade física e geométrica. O modelo utilizado para análise, é vigas de concreto armado, bi-apoiadas com cabos poligonais.

Para análise bibliográfica foram estudados 8 trabalhos realizados a parti do ano 1989 até 2013. Também foram revisados e ensaiados por 4 procedimentos normativos.

Para realização do ensaio, foi feita a seguinte consideração: não-linearidade física, desprezando a resistência a tração do concreto e admitiu aderência perfeita entre aço e concreto. Para a análise do comportamento da viga, foi separado em duas etapas, a primeira chamada de etapa 0, as cargas atuam na viga de forma permanente, na segunda etapa, chamado de etapa 1, as cargas acidentais são atuantes.

Na etapa 0, os cabos ainda não estão presos a viga, dessa forma toda deformação da viga, ocorre até a estabilização do sistema. A interação cabo-estrutura segue uma sequência de cálculos até a estabilização do sistema e fixação dos cabos nas vigas. Na Figura 21 é demonstrado o fluxograma dos cálculos realizados no programa para etapa 0.

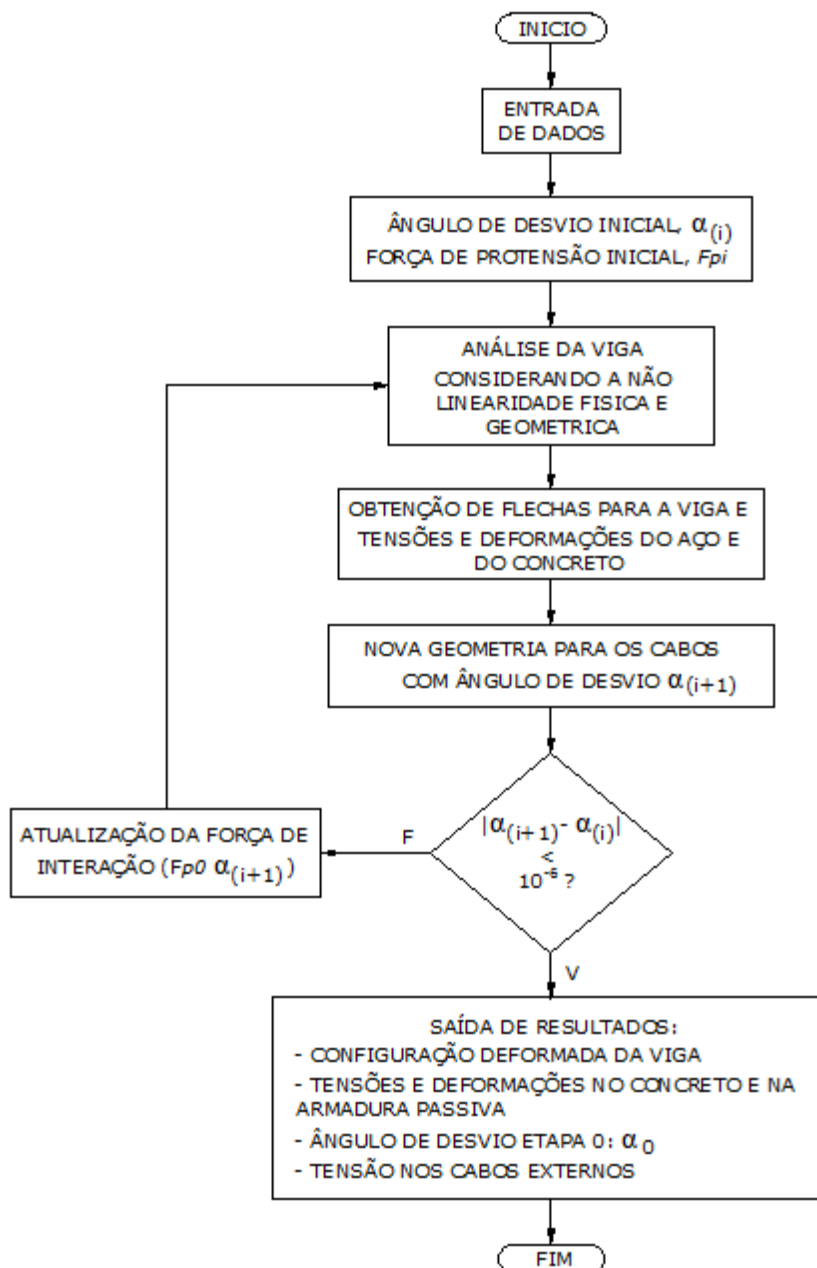


Figura 21: Fluxograma dos cálculos realizados no programa para etapa 0 (TELES, 2015).

Na etapa 1, é realizado a análise da interação cabo-estrutura para cada seção de carga atuante, e é feito por meio da compatibilização dos deslocamentos da viga e dos cabos onde se interagem. As geometrias iniciais, são as determinadas no final da etapa 0, e em cada seção de carga atuante, é seguido uma sequência de cálculos até a estabilização da geometria, pois

essas geometrias dos cabos variam resultando variações de forças nos mesmos. Na Figura 22 é demonstrado o fluxograma dos cálculos realizados no programa para etapa 1.

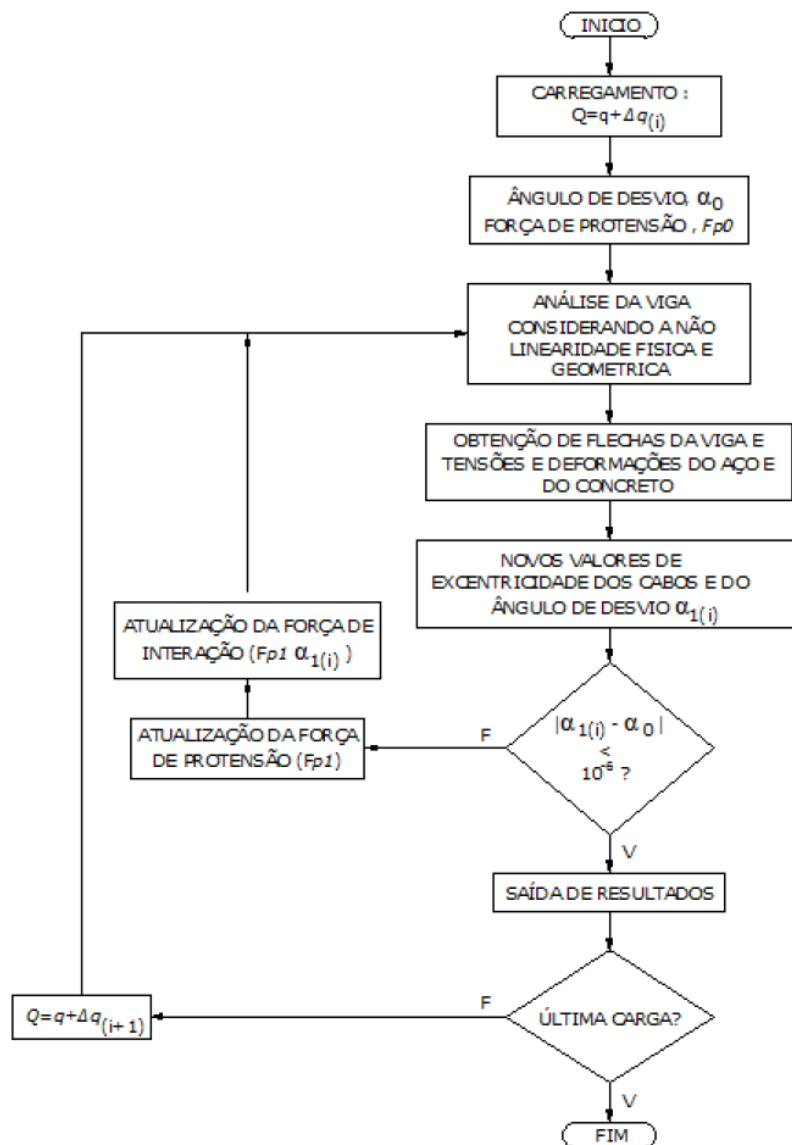


Figura 22: Fluxograma dos cálculos realizados no programa para etapa 1 (TELES, 2015).

Com isso, obtém valores para traçar as curvas carga-flecha, carga-tensão nos cabos externos e os momentos nas seções.

O autor conclui que as vigas reforçadas com proteção externa, nos trabalhos vistos na revisão bibliográfica e as aplicações feitas com o programa desenvolvido comprovaram a eficiência da técnica no acréscimo de momento resistente e na redução de flechas. Completa, concluindo que vigas com menos desviadores, foram menos eficientes, pois os mesmos são

responsáveis por manter o traçado dos cabos, reduzindo a variação de excentricidade e influenciando assim, o comportamento da estrutura.

Por fim, as expressões para determinantes de tensões nos cabos propostas por pesquisadores e especificadas por normas podem levar valores bem diferentes.

5.8 Estudos de Tsutsumoto (2016)

O bambu tem grande potencial como material de construção, pois resiste bem a esforços de tração, mas possui como desvantagem por ser um material orgânico e higroscópico. Após a concretagem, durante a cura do concreto, o bambu absorve água e, conseqüentemente, tem suas dimensões aumentadas. Com o concreto endurecido, o bambu começa a perder a água absorvida e se retrai, sofrendo uma redução de seu volume, o que diminui a eficiência da aderência entre os materiais. (TSUTSUMOTO, 2016).

Com isso em mente, a autora teve como objetivo principal avaliar o comportamento estrutural de vigas de concreto armado, sem e com reforço adicional de taliscas de bambu, por meio de ensaios de flexão. As taliscas de bambu utilizadas como reforço adicional à armadura são de dois tipos: com e sem reforços nas regiões nodais, pois o mesmo tem resistência de tração muito inferior nessa região. E para analisar a aderência, foi realizado ensaios de arrancamento.

Com intuito de minimizar os problemas devido a essas desvantagens, foi realizado um reforço na região dos nós (FIGURA 23). Foram colados outros segmentos de taliscas de bambu com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona. Para melhorar a aderência com o concreto, o bambu, foi revestido com látex de seringueira, pois o mesmo, atua como impermeabilizante.



Figura 23: Detalhe da talisca com o nó reforçado e pedaço de bambu a ser aderido na região do nó (TSUTSUMOTO, 2016).

A autora faz levantamento bibliográfico, onde aborda aplicações de bambus nas construções civis e ensaios realizados com os mesmos, esse ensaio se dá a esforços de compressão, tração, flexão, absorção de água, e aderência do bambu com o concreto.

No ensaio de absorção de água, foram utilizadas 3 amostras de cada tipo: sem impermeabilizante (referência), com quatro camadas de látex e com três camadas de Neutrol®. Os resultados obtidos estão na Figura 24.

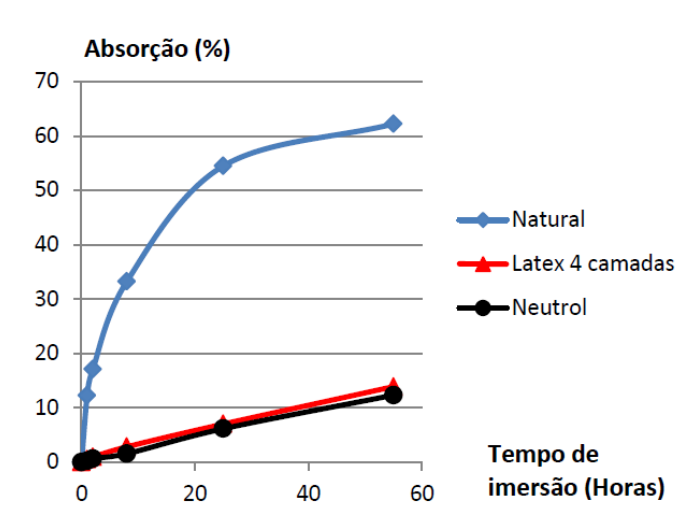


Figura 24: Taxa de absorção de água (TSUTSUMOTO, 2016).

Os ensaios de arrancamentos realizados com corpos de prova de concreto e talisca de bambu cravejadas com pinos de aço e bambu, avaliou-se as dimensões transversais das taliscas, a resistência do concreto, o tipo e a quantidade de pinos utilizados. A Figura 25

mostra a posição dos pinos de aço nas taliscas de bambu. O ensaio realizado foi de Mesquita et al. (2006).

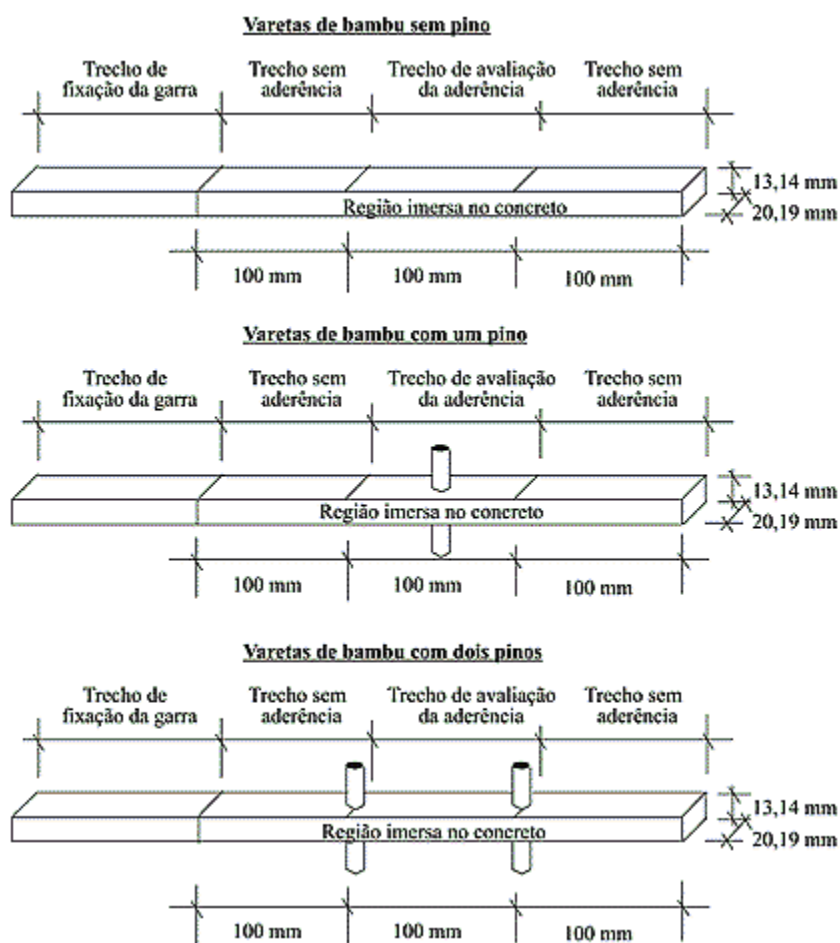


Figura 25: Características dos corpos de prova utilizados no ensaio de arrancamento (TSUTSUMOTO, 2016).

Para os ensaios realizados por Tsutsumoto (2016), foram elaborados 10 corpos de prova, sendo 5 com taliscas reforçados em todos os nós, e 5 reforçados apenas aonde não havia contato com o concreto, foram elaborados também 10 vigas, sendo, 1 viga de concreto armado elaborada apenas para verificar as condições do ensaio, 3 vigas de concreto armado usados como referência, 3 vigas de concreto armado reforçadas adicionalmente com taliscas de bambu, cujos nós não foram reforçados e 3 vigas de concreto armado reforçadas adicionalmente com taliscas de bambu, cujos nós foram reforçados. As vigas contem barras de aço com diâmetros iguais a 5mm, 4,2mm e 4,2mm. Os equipamentos utilizados tanto para obter resultados, como para confecção das vigas e corpos de prova, foram, vibrador de

imersão, mesa vibratória, células de carga e relógios comparadores, extensômetros elétricos, perfis metálicos e sistema de aquisição de dados.

Os corpos de prova (FIGURA 26), são para os ensaios de arrancamento (FIGURA 27), o concreto, foi dosado para alcançar a resistência a compressão mínima de 25MPa.



Figura 26: Corpos de prova (TSUTSUMOTO, 2016).



Figura 27: Ensaio de arrancamento (TSUTSUMOTO, 2016).

As vigas ensaiadas têm a armadura com e sem as taliscas de bambu apresentadas na Figura 28.

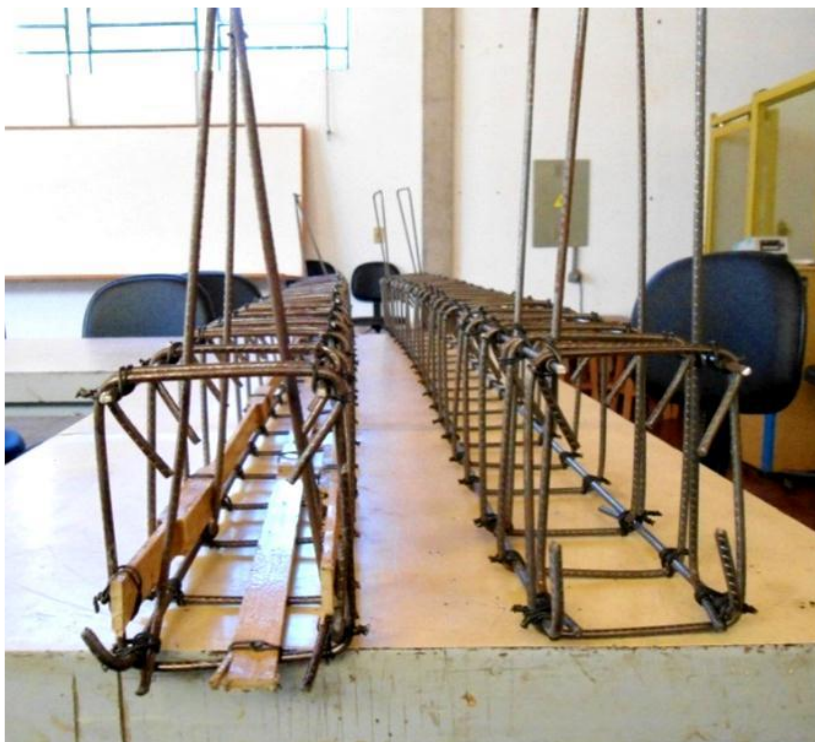


Figura 28: Armadura com e sem talisca de bambu (TSUTSUMOTO, 2016).

Partindo para o ensaio de flexão em vigas foi utilizado um macaco hidráulico acoplado a uma célula de carga de 30 tf. Para a distribuição da força no vão central da viga, foi utilizado um perfil metálico. Entre a célula de carga e o perfil metálico, foi utilizada uma rótula metálica, permitindo a acomodação do cilindro hidráulico em função de possíveis imperfeições na superfície do perfil (FIGURA 29).

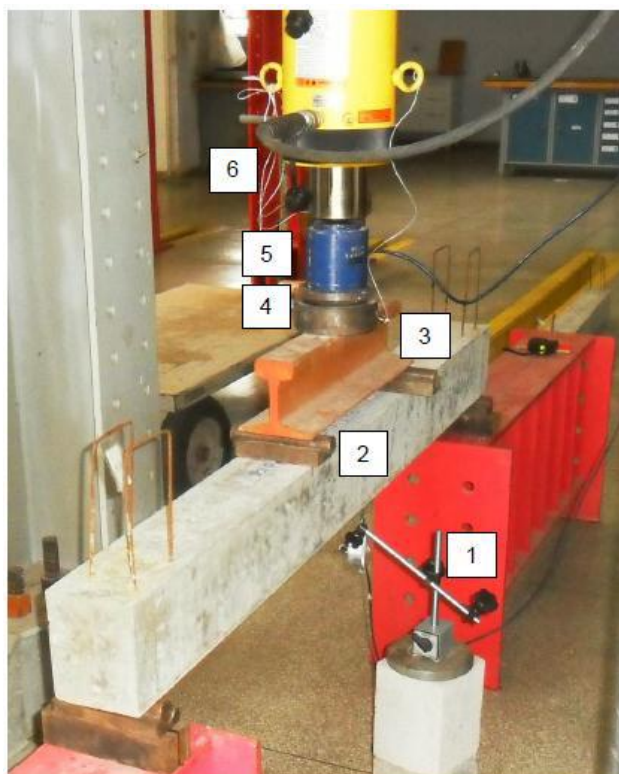


Figura 29: 1) Relógio comparador, 2) Rolete, 3) Perfil metálico usado para transferir a carga para a viga em 2 pontos que definem a região central, 4) Rótula, 5) Célula de carga e 6) Macaco hidráulico (TSUTSUMOTO, 2016).

Após todos os ensaios, e análises de resultados, foi observado que em todos os ensaios de tração houve primeiramente o rompimento da cola que fixava os reforços ao corpo de prova, e, imediatamente depois, havia a ruptura da talisca na região do nó. Nos corpos de prova sem reforço, a ruptura das taliscas também ocorreu na região dos nós. A tensão média de ruptura teve um aumento considerável nas amostras com reforços colados, porém os desvios também foram maiores. Para os ensaios de arrancamento, as amostras com reforço apresentaram maiores eficiência. As vigas ensaiadas, submetidas flexão, obtiveram grandes resultados, pois teve um aumento de resistência de mais de 39%, assim como melhorou seu comportamento em relação ao ELS, porém, as vigas começaram a fissurar com cargas menores.

Por fim, a autora conclui que o bambu aumentou bastante a capacidade das vigas e, portanto, pode-se pensar na redução da quantidade de aço a ser utilizado, além disso, a autora afirma, que as vigas obtiveram uma melhoria de 13,4% em relação ao aumento de flechas máxima, com taliscas de bambu reforçadas ou não nos nós.

5.9 Estudos de Melo (2017)

Melo (2017), iniciou o trabalho com o objetivo de avaliar o comportamento de vigas de concreto armado reforçadas á flexão por meio da técnica *near surface mounted* (NSM), para isso, construiu oito vigas de 150mm x 250mm x 2800mm de dimensões, sendo duas sem reforço. A resistência média do concreto a compressão é de 45MPa, utilizou barras com seção circular e retangular, de aço e os compósitos de resina e fibras de vidro (GFRP), e barras de seção circular e tiras em lamina de seção retangular de compósitos de resina e fibras de carbono (CFRP), todos com 2500 mm de comprimento. Foram avaliadas as cargas, momento de ruptura, flechas, deformações do concreto e das armaduras longitudinais interna e de reforço e abertura de fissuras de flexão.

As vigas foram dimensionadas de acordo com ABNT NBR 6118 (2014), foram moldados 20 corpos de prova cilíndricos de concreto de 100 mm x 200 mm de dimensões, conforme a norma ABNT NBR 5738 (2003) (FIGURA 30). Utilizou-se a prensa universal servo-hidráulica, marca CONTENCO com capacidade de 1000 kN, para se obter os valores médios de resistência à compressão e à tração indireta por compressão diametral e do módulo de elasticidade do concreto.



Figura 30: Corpos de prova cilíndricos (MELO, 2017).

A armadura longitudinal de tração e transversal foram montadas com barras nervuradas de aço CA-50 e CA-60, nesta ordem. Os diâmetros das armaduras longitudinal de tração e transversal foram iguais a 12,5 mm e 6,3 mm, enquanto para a armadura de montagem, 6,3 mm do tipo aço CA-60 (FIGURA 31).

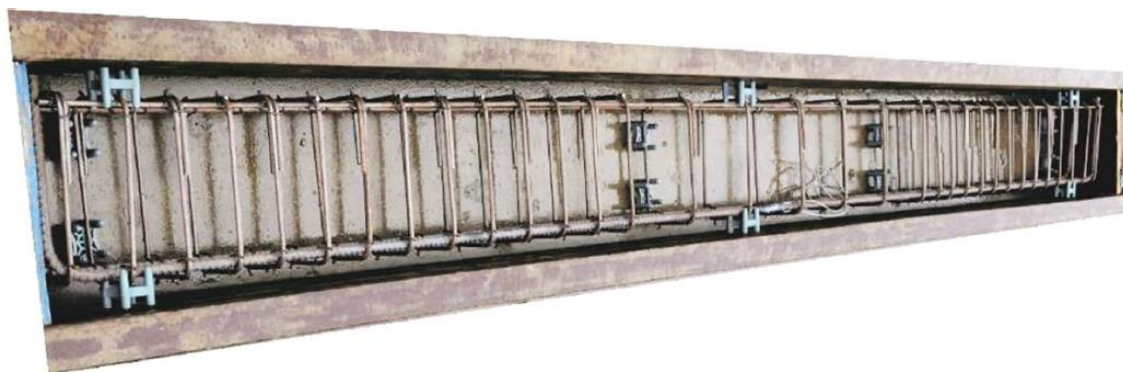


Figura 31: Armadura com aço CA-60 (MELO, 2017).

As vigas foram submetidas a flexão por uma bomba hidráulica de 1000kN, bi-apoídas com apoios de 1º e 2º gênero, os apoios distantes 2550mm, a Figura 32 mostra o esquema do ensaio.

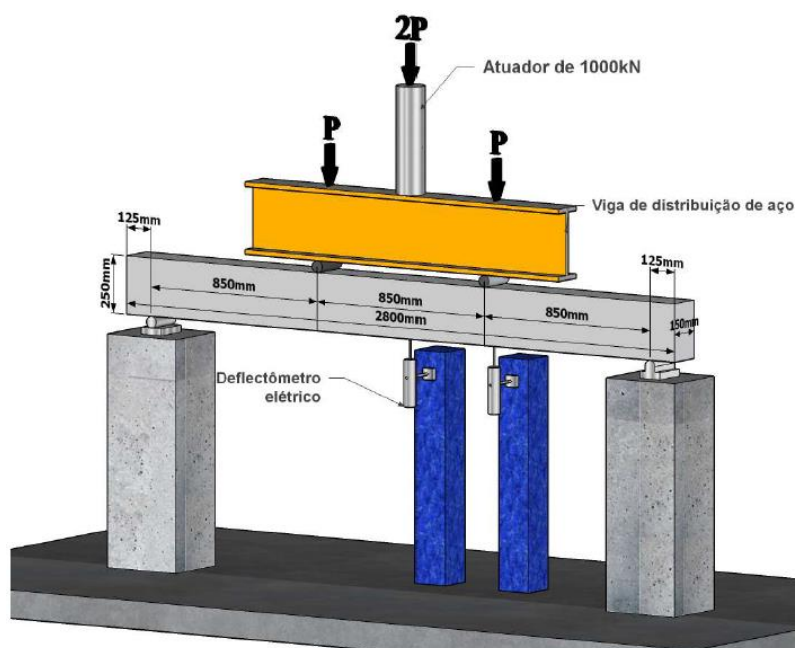


Figura 32: Esquema do ensaio (MELO, 2017).

O autor, conclui que as vigas reforçadas com aço apresentaram maior rigidez a flexão do que as vigas reforçadas com material Compósito de fibras e resinas (FRP). Dentre outras conclusões, o autor afirma que os valores de cargas correspondentes ao valor limite de flecha proposto pela norma ABNT NBR 6118 (2014) para as vigas reforçadas com NSM em aço foi cerca de 1,5 vezes maior que a das vigas reforçadas com NSM em FRP. Todas as vigas reforçadas apresentaram valores de abertura de fissura de flexão, para um mesmo nível de

carregamento, menores que os das vigas sem reforço, sendo maiores para a viga reforçada com NSM em barra circular de CFRP. Para o limite de 0,4 mm de abertura de fissura de flexão recomendado pela norma ABNT NBR 6118 (2014), a viga reforçada com NSM em barra circular de aço foi a que apresentou maior carga, enquanto a viga reforçada com barras de GFRP, apresentou a menor carga.

Os valores experimentais das flechas no meio do vão foram 68% a 266% superiores aos calculados, tendo o sistema de ancoragem de extremidade do reforço NSM influenciado nos resultados, o modelo de previsão da flecha imediata não leva em conta tal sistema de ancoragem. Capacidade resistente das vigas reforçadas foi 66% (viga com barra circular de GFRP) a 107% (viga com barra retangular de GFRP) maior que a da viga sem reforço. Esperava-se que a viga com barra de CFRP apresentasse a maior capacidade resistente, o que não aconteceu, pois houve falha na aderência entre a barra de CFRP e o concreto, levando ao escorregamento da barra de reforço no interior do concreto.

As vigas reforçadas com NSM em aço foram as que apresentaram maior rigidez à flexão, consequentemente menores valores de flecha no meio do vão, pois a rigidez à flexão do material de reforço em aço era cerca de quatro vezes maior que a do material de reforço FRP. O reforço à flexão do tipo NSM se mostrou uma técnica de reparo ou reforço muito eficiente, pois levou a acréscimos de capacidade resistente e reduções nos valores de flecha e abertura de fissura à flexão das vigas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão teórica de forma geral apresentou características interessantes, no que se trata a flechas em vigas. Em ensaios, foi possível perceber que uma menor taxa de armadura aumenta o deslocamento vertical, porém, vigas reforçadas externamente com aço, diminuem a flecha, até certo limite de espessura do aço. Outra forma de melhorar a resistência e diminuir as flechas é adicionando taliscas de bambu reforçadas ou não nos nós.

Sobre modelos teóricos levantados, a norma brasileira, é o que apresenta mais eficiência, mas se comparado com modelos experimentais a diferença de resultados às vezes é divergente, o que gera, insegurança. Porém, foi abordado modelos mais precisos em relação a resultados experimentais e simples por seguirem um fluxograma e calculados por softwares computacionais.

Em estudos, observou que matérias como o concreto leve, é mais eficiente que o concreto convencional, por reduzir o peso próprio, o que torna a estrutura como todo, mais leve, além disso, foi possível perceber a melhora do conforto térmico. As peças com esse tipo de material podem ser dimensionadas como sugere a norma brasileira, porém, as dimensões serão um pouco maiores por possuírem baixas resistências a tração direta.

Baseado no levantamento bibliográfico realizado neste trabalho construiu-se o Quadro 4 que consiste no resumo dos autores e os aspectos relacionados aos seus estudos com ênfase em determinação/dimensionamento de flechas.

AUTORES	RESULTADOS DOS ESTUDOS DAS FLECHAS	
	Concreto Convencional	Concreto
Filho <i>et. al.</i> (2011).	Menores taxas de armação resulta em maiores flechas para cargas de ciclo repetidos.	
Deghenhard e Vargas (2013)	Com reforço da chapa de aço, aumentou a flecha máxima.	
Caetano (2014)	O modelo proposto pelo autor, para analisar a capacidade resistente de vigas fissuradas, possui alta precisão e eficiência.	
Contadini (2014)		Conclui que as Normas chegam a valores satisfatórios de momento último.
Bandini (2015)	Os modelos propostos por ele, calcula flechas de forma rápida e pratica.	
Ferreira (2015)		Aumenta a rigidez, devido ao aumento da seção transversal,

		diminuindo as flechas.
Teles (2015)	Os cabos aumenta a resistência da viga, diminuindo as flechas.	
Tsutsumoto (2016)		Adicionando as talisca de bambu, aumenta as capacidades da viga e diminui as flechas.
Melo (2017)	As vigas reforçadas alcançaram maiores resistências para o início das flechas, e o aumento da flecha máxima.	

Quadro 4: Resultados dos trabalhos sobre determinação/dimensionamento de flechas em viga, segundo os autores. (DAMASCENO, 2018)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 5738:2003; Emenda 2008. Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova, Rio de Janeiro, 2003/2008.

ABNT NBR 14931, Execução de estruturas de concreto – Procedimento apud ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2014.

AUTODESK, Knowledge Network. Autodesk Simulation Mechanical 2014 - Help. 2014. Disponível em < <http://help.autodesk.com/view/ASMECH/2014/ENU/> >. Acesso em 31 maio. 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. London, 2004, 230p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014, 238P.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15961-1: alvenaria estrutural - blocos de concreto: projeto. Rio de Janeiro, 2011. 33 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência: Rio de Janeiro, 2009. 3p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação: Rio de Janeiro, 2007. 13p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221 p.

BANDINI, PEDRO ALEXANDRE CONDE. A CONSIDERAÇÃO DA NÃO-LINEARIDADE FÍSICA NO CÁLCULO DE FLECHA EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO. 2015. 184 p. Dissertação (mestrado) (Mestre em Engenharia Civil)-FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Campinas, SP, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258037/1/Bandini_PedroAlexandreConde_M.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BISCHOFF, P. H., Reevaluation of deflection prediction for concrete beams reinforced with steel and fiber reinforced polymer bars. *Journal of Structural Engineering*, v. 131, n. 5, p. 752-767, 2005.

BORGES, J. U. A. Análise do comportamento de vigas de concreto de alto desempenho por meio da mecânica da fratura. Tese (Doutorado em Engenharia). USP, São Paulo, 2002.

CAETANO, T. R. G. 2014. Capacidade resistente residual de vigas fissuradas. Belém, 107p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014** . 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 405 p.

COMITE EURO INTERNATIONAL DU BETON (CEB). FIP MODEL CODE MC-2010 – Design code. Bulletin d'Information, Comité Euro-International du Béton, 2010.

Contadini, Leandro de Faria. Análise teórica e experimental do comportamento de vigas de alvenaria estrutural armada sujeitas à flexão simples / Leandro de Faria Contadini. – Ilha Solteira: [s.n.], 2014. 155 f.

CORTELASSI, E. M. Avaliação do comportamento de concretos celulares espumosos de alto desempenho. 2005. 198 f. Dissertação – Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

COELHO, Jano D`araujo. CONFIABILIDADE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO. 2011. 272 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/95593/301208.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

DE MELO, Renan Henrique. Reforço à flexão de vigas com compósitos de fibras de vidro e de carbono inseridos no concreto de cobrimento /. 2017. 141 p. Dissertação (Mestrado). (CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES) - INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, RIO DE JANEIRO, 2017.

DEGHENHARD, Caroline Crozeta; VARGAS, Alexandre. ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CAPACIDADE PORTANTE EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUJEITAS A FLEXÃO COM REFORÇO METÁLICO COLADO NA FACE TRACIONADA. Iniciação Científica,, Criciúma, Santa Catarina, p.171-189, jan. 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/2467>>. Acesso em: 06 jul. 2018.

EUROCODE 2. Design of Concrete Structures. European Prestandard, Brussels. Belgium, 1999. 25p.

FERREIRA, Cláudia Nunes Gomes. Dimensionamento de elementos estruturais em concreto leve . 2015. 166 f. Dissertação (Mestrado). (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL)- UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7576?show=full>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

GILBERT, R. I.; NEJADI, S., An experimental study of flexural cracking in reinforced concrete members under sustained loads. UNICIV Report N° R-435, University of New South Wales, Sidney, 2004, 59p.

GILBERT, R. I., The serviceability limit states in reinforced concrete design. Procedia Engineering, v. 14, p. 385–395, 2011.

HIBBELER, R. C. “Estática - Mecânica para Engenharia”, São Paulo, Prentice Hall, 12ª edição, 2011.

HIBBELER, R.C. Resistência dos Materiais LTC Editora – Rio de Janeiro – 3ª Edição ISBN - 85-216-1228-1

LEONHARDT, F., Construções de Concreto - Volume 4. 1a, Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1981, 228p.

MCCORMAC, Jack C.; NELSON, James K. Structural Steel Design: LRFD Method . 3. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002. 713 p. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Structural-Steel-Design-LRFD-Method/dp/0130479594?SubscriptionId=AKIAIOBINVZYXZQZ2U3A&tag=chimbiori05-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=0130479594>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

OLIVEIRA FILHO, J.; ALVA, G. M. S.; CANHA, R. M. F. and EL DEBS, A. L. H. C.. Análise numérica e experimental da evolução de flechas de vigas de concreto armado sob ações cíclicas repetidas. Rev. IBRACON Estrut. Mater. [online]. 2011, vol.4, n.5, pp.722-734. ISSN 1983-4195. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952011000500003>.

PIANCASTELLI, E. M., Comportamento e desempenho do reforço à flexão de vigas de concreto armado, solicitado a baixa idade e executado inclusive sob carga. 1997, 224p., Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

PEREIRA, M. R. Estudo da adição de argila expandida na formulação de concretos leves. 2008. 82 f. Dissertação – Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

RUIZ, J. C.; DUTARI, L. G.; ESCRIBANO, R. R., Cálculo de flechas em estruturas de concreto armado. 2ª, Madrid: INTEMAC, 2009, 352p.

SOUZA, Marta Francisca Suassuna Mendes de; RODRIGUES, Rafael Bezerra. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos** . 2008. 93 p. Dissertação (Mestrado). (Departamento de Estruturas)- Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Campinas (SP), 2008. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf>. Acesso em: 21 set. 2018.

TELES, Vinicius Lube. ANÁLISE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS COM PROTENSÃO EXTERNA. 2015. 118 p. Dissertação (mestrado) (Engenharia Civil) - INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA, UFRJ, RIO DE JANEIRO, 2015. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/es/documents2/mestrado/2015/2629-teles-vl-tm-15-pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

TSUTSUMOTO, Nayra Yumi. AVALIAÇÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM TALISCA DE BAMBU REFORÇADAS NOS NÓS / Nayara Yumi Tsutsumoto, Ilha Solteira [s.n], 2016, 156 f.

USDA, United States Department of Agriculture. Wood handbook - Wood as an engineering material. Madison: Forest Products Laboratory, 2010. 508 f.

WOLFRAM RESEARCH INC., Wolfram Mathematica® 8, 2010. RUIZ, J. C.; DUTARI, L. G.; ESCRIBANO, R. R., Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado. 2ª, Madrid: INTEMAC, 2009, 352p.