

**UNIEVANGÉLICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HUGO LEONARDO RODRIGUES SALES**  
**VICTOR CARLOS DE MEDEIROS**

**ESTUDO DA NECESSIDADE DAS LINHAS DE**  
**CORRENTE EM TERÇAS PRÉ-FÁBRICADAS DE**  
**CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO**

**ANÁPOLIS / GO**  
**2019**

**HUGO LEONARDO RODRIGUES SALES  
VICTOR CARLOS DE MEDEIROS**

**ESTUDO DA NECESSIDADE DAS LINHAS DE  
CORRENTE EM TERÇAS PRÉ-FÁBRICADAS DE  
CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA M. GODOI QUARESMA  
CO-ORIENTADOR: ANDERSON SOUZA ROCHA**

**ANÁPOLIS / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MEDEIROS, VICTOR CARLOS; SALES, HUGO L. RODRIGUES	
Estudo da necessidade das linhas de corrente em terças pré-fabricadas de concreto armado e protendido.	
52P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).	
TCC - UniEvangélica	
Curso de Engenharia Civil.	
1. Linhas de corrente	2. Terça pré-fabricada
3. Protensão	4. Flambagem
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEDEIROS, Victor Carlos; SALES, Hugo L. Rodrigues. Estudo da necessidade das linhas de corrente em terça pré-fabricada de concreto armado e protendido. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 52p. 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Hugo Leonardo Rodrigues Sales

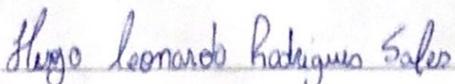
Victor Carlos de Medeiros

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo da necessidade das linhas de corrente em terças pré-fabricadas de concreto armado e protendido.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

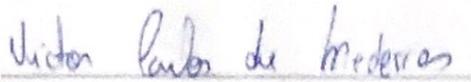
ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Hugo Leonardo Rodrigues Sales

E-mail: tcisalles@gmail.com



Victor Carlos de Medeiros

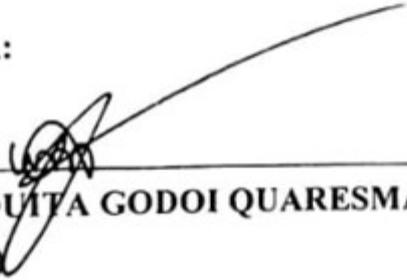
E-mail: victorcarlosm@hotmail.com

**HUGO LEONARDO RODRIGUES SALES**  
**VICTOR CARLOS DE MEDEIROS**

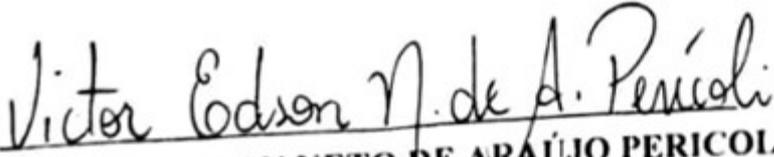
**ESTUDO DA NECESSIDADE DO USO DAS LINHAS DE  
CORRENTE EM TERÇAS PRÉ-FABRICADAS DE  
CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
BACHAREL

APROVADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)

  
\_\_\_\_\_  
AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre  
(UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

  
\_\_\_\_\_  
VICTOR EDSON NETO DE ARAÚJO PERICOLI, MESTRE (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 06 de DEZEMBRO de 2019.



## RESUMO

Por muitos anos as linhas de corrente começaram a ser utilizadas em construções metálicas impedindo a flambagem lateral das terças, por outro lado o seu uso em estruturas pré-fabricadas ainda é pouco explorado. O objetivo desse trabalho é se ter uma análise para verificar a necessidade de haver linhas de corrente em terças pré-fabricadas de concreto armado, evitando-se assim a flambagem e a perda dessa importante peça estrutural. Os conceitos utilizados serão comprovados com estudo de caso, utilizando o programa TQS/PREO®. Após a coleta dos dados obtidos com o estudo de caso, paralelamente, será comparado com pesquisas de situações atuais onde será visto o transtorno decorrente dessa deformação. Realizaremos uma pesquisa levantando o impacto das perdas ocasionados por flambagem lateral, que interfere diretamente no orçamento e cronograma da obra. O trabalho propõe comprovar a indispensabilidade de utilizar as linhas de corrente para conter esforços laterais de flambagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pré-Moldados. Terça de concreto. Esbeltez. Flambagem lateral.

## **ABSTRACT**

For many years the current lines began to be used in metallic constructions preventing the lateral buckling of the thirds, on the other hand its use in prefabricated structures is still little explored. The objective of this work is to have an analysis to verify the need to have current lines in prefabricated thirds of reinforced concrete, thus avoiding the buckling and loss of this important structural piece. The concepts used will be verified with case study, using the program TQS/PREO®. After collecting the data obtained with the case study, in parallel, it will be compared with researches of current situations where the disorder resulting from this deformation will be seen. We will carry out a survey raising the impact of the lateral buckling perch, which interferes directly with the budget and schedule of the work. The work proposes to prove the indispensability of using the current lines to contain lateral efforts of buckling.

**KEYWORDS:** Pre-Molded. Concrete Tuesday. Slimness. Lateral buckling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Galpão com pilares, vigas de cobertura, terças e fechamento em painéis pré-fabricados.....	14
Figura 2 - Deformação lateral nas terças de concreto protendido .....	15
Figura 3 – Seção transversal da terça .....	15
Figura 4 - Desenho publicado em 1859 mostrando a utilização do concreto.....	18
Figura 5 - Alvenaria de pedra armada, <i>Pantheon</i> de Paris .....	20
Figura 6 - Ponte feita de pedra em formato de arco .....	20
Figura 7 - Joseph Louis Lambot e o protótipo de seu barco.....	21
Figura 8 - Joseph Monier e a primeira ponte em concreto armado de sua autoria.....	22
Figura 9 - Viga de concreto simples(a) e armado(b) .....	23
Figura 10 - Esquema de uma pista de protensão pré-tracionada .....	24
Figura 11 - Exemplo de aplicação: protensão com aderência posterior .....	25
Figura 12 - Exemplo de ancoragem com cunhas de aço .....	25
Figura 13 - Jockey Clube do Rio de Janeiro.....	28
Figura 14 - Galpão pré-fabricado .....	30
Figura 15 - Cobertura em concreto pré-fabricado .....	31
Figura 16 - Içamento da viga.....	32
Figura 17 - Viga com flambagem na região comprimida.....	32
Figura 18 - Domínios de Deformação .....	35
Figura 19 - Especificação técnica da telha TP100- ISOESTE .....	37
Figura 20 – Exemplo de linha de corrente em galpão metálico .....	37
Figura 21 - Modelagem da terça sem nenhuma linha de corrente.....	38
Figura 22 - Modelagem da terça com 01 linha de corrente no centro da peça.....	38
Figura 23 - Modelagem da terça com 02 linha de corrente .....	39
Figura 24 - (a) Seção transversal da terça aplicada a carga .....	39
(b) Posição onde foi	
Figura 25 - Armação utilizada na peça.....	40
Figura 26 – Esforços peso próprio terça.....	41
Figura 27 - Dados para processamento de protensão .....	42
Figura 28 - Resultado peso próprio + protensão .....	43
Figura 29 - Esforços peso próprio + protensão + içamento.....	44
Figura 30 - Esforços finais considerando os carregamentos .....	44

Figura 31- Resultado das flechas.....	45
Figura 32 - Eixo local sem linha de corrente.....	46
Figura 33 - Eixo local 01 linha de corrente .....	46
Figura 34 - Eixo local 02 linhas de corrente.....	47
Figura 35 - Flecha com carregamentos .....	47
Figura 36 - Flecha com 01 linha de corrente .....	48
Figura 37 - Flecha com 02 linha de corrente .....	48
Figura 38 - Momento com carregamento .....	49
Figura 39 - Momento com 01 linha de corrente .....	49
Figura 40 - Momento com 02 linhas de corrente .....	50

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Valores de Bfl.....	33
Tabela 2 - Resultado Flechas e Momentos.....	50

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABESC	Associação Brasileira de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCV	Concreto convencional
CA	Concreto Armado
CP	Concreto Protendido
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
FCD	TensãoxDeformação do Concreto para Cálculo
KMD	Fator de Adimensional Para Dimensionamento
NBR	Norma Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
1.3 METODOLOGIA .....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2 CONCRETO ARMADO E CONCRETO PROTENDIDO .....</b>	<b>18</b>
2.1 HISTÓRICO .....	18
2.2 NORMATIZAÇÃO .....	26
2.3 NBR 6118:2014 .....	26
2.4 NBR 9062:2017 .....	26
<b>3 COBERTURAS COM CONCRETO PRÉ FABRICADOS .....</b>	<b>28</b>
3.1 HISTÓRICO E CONCEITUAÇÃO .....	28
3.2 FLEXÃO E FLAMBAGEM.....	31
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA TERÇA PRÉ-FABRICADA .....	39
<b>5 RESULTADO E DISCUSSÕES .....</b>	<b>41</b>
5.1 DIAGRAMA DE ESFORÇOS .....	41
5.2 GRÁFICO DE EIXOS ORIENTATIVOS.....	46
5.3 FLECHAS .....	47
5.4 MOMENTOS.....	48
5.5 FLECHA LIMITE NORMA.....	50
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado em um todo e especificamente na área da construção civil, torna-se a cada momento mais técnico com novas tecnologias e técnicas construtivas com maior rapidez e qualidade aparente, com isso a construção com peças pré-fabricadas tem se consolidado com lugar de destaque dentro das opções presentes.

Segundo El Debs (2000, p.3),

“A Construção Civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais. A razão disso está no fato de ela apresentar, de uma maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade. Uma das formas de buscar a redução desse atraso é com técnicas associadas à utilização de elementos pré-moldados de concreto. O emprego dessas técnicas recebe a denominação de concreto pré-moldado ou de pré-moldagem e as estruturas formadas pelos elementos pré-moldados recebem a denominação de estruturas de concreto pré-moldado”.

O mesmo autor afirma que a pré-moldagem é caracterizada como um processo de construção em que a obra, ou parte dela, é moldada fora do seu local de utilização definitivo. Frequentemente a pré-moldagem é relacionada a outros termos: a pré-fabricação e a industrialização da construção.

De acordo com a definição contida no site da empresa Premart – Pré-Fabricados “as terças são elementos pré-fabricados em seção transversal do tipo “T” em geral, protendidas. Seu resultado possui a funcionalidade em servir de base para as telhas, que juntas, arquitetarão a cobertura do galpão.

São utilizadas em coberturas de edificações industriais, alicerçadas nas vigas de cobertura por meio da aplicação de calços nos locais definidos. É possível empregar em edificações com modulação de até 12,00 m. O espaçamento entre eixos delas, no plano da cobertura, pode chegar a até 3,00 metros.

São dimensionadas para resistirem esforços provenientes de ações permanentes (peso próprio, acessórios elétricos e telhas) e acidentais”.

Um exemplo de estrutura pré-fabricada muito utilizada para construções industriais ou comerciais são os galpões. O esquema estrutural em geral consiste em pilares engastados na fundação, vigas de cobertura, simplesmente apoiadas nos pilares, podendo ou não ter o emprego de consolos e terças que também podem ser pré-fabricadas ou metálicas. Os galpões podem ainda ter seu fechamento lateral executados com painéis pré-fabricados.

A Figura 1 ilustra o conceito de galpão com todos os elementos estruturais pré-fabricados.

**Figura 1- Galpão com pilares, vigas de cobertura, terças e fechamento em painéis pré-fabricados**



Fonte: SROCHA CONSULTORIA E PROJETOS, 2019.

A flambagem das terças pode ocorrer no sentido vertical da peça ou no sentido lateral, quanto maior o vão, maior será o deslocamento vertical das terças, aumentando a possibilidade de fissuras e até o comprometimento da peça.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha desse tema foi baseada na observação de uma problemática técnica onde há terças pré-fabricadas quando submetidas a esforços de compressão fora do seu eixo ocorre uma flambagem lateral, sendo necessário o uso das linhas de corrente como solução para combater essa força lateral existente.

Em seu item 15.10, a NBR 6118 (2014) define instabilidade lateral de vigas como a segurança à instabilidade lateral que deve ser garantida através de procedimentos apropriados.

Como procedimento apropriado pode-se adotar, para vigas de concreto, com armadura passivas ou ativas, sujeitas à flambagem lateral, as seguintes condições:

$$h > \frac{l_0}{50} \quad (1)$$

$$b \geq B_{fs} h \quad (2)$$

Onde:

- $b$  é a largura da zona comprimida;  $h$  é a altura total da viga;
- $L_0$  é o comprimento do flange comprimido, medido entre suportes que garantam o contraventamento lateral;
- $B_{fS}$  é o coeficiente que depende da forma da viga.

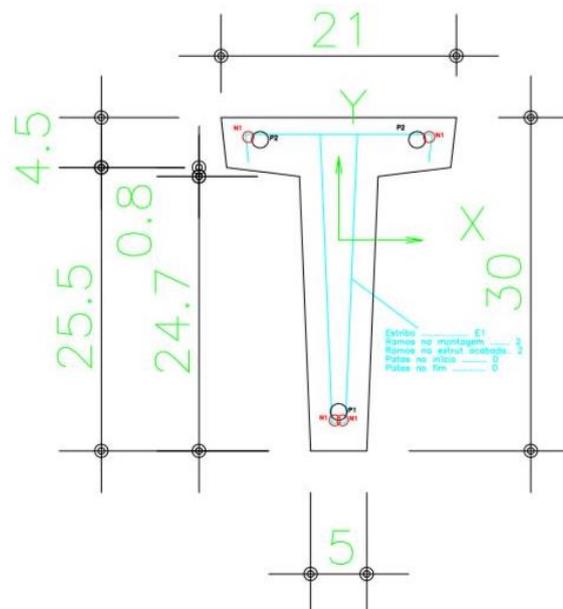
Terças de cobertura são elementos muito esbeltos e devido ao comprimento poderá haver instabilidade lateral com subsequente flambagem lateral e posteriormente deformação excessiva. Na Figura 2, é possível verificar a deformação lateral nas terças de concreto protendido, e a Figura 3 representa sua seção transversal.

**Figura 2 - Deformação lateral nas terças de concreto protendido**



Fonte: REDE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO, 2019

**Figura 3 – Seção transversal da terça**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

## 1.2 OBJETIVOS

Verificar o comportamento da estrutura pré-moldada do tipo terça em função da aplicação de travamentos para combater sua flecha excessiva.

### 1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa teve como objetivo geral realizar um estudo da necessidade de aplicação das linhas de corrente em terças para coberturas pré-fabricadas de concreto armado e protendido.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- I. Modelar uma proposta de terça pré-fabricada no software TQS;
- II. Variar a modelagem com aplicação de linha de corrente até alcançar a esbeltez desejado pela norma, considerando a terça como viga;
- III. Tabular os resultados e apresentar uma proposta de projeto.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada ao presente trabalho partiu do estudo de um caso onde as terças de concreto armado e protendido por ser esbelto e de grandes vãos podendo chegar até 12,00 metros, sofrem com flambagem lateral e flecha excessiva, e para verificar esta situação, será utilizado o TQS para analisar e dimensionar a peça.

O estudo de caso consistirá em fazer uma análise da peça através dos diagramas gerados sem linhas de corrente e em seguida lançar a variação de quantidade de linhas de corrente. Será testado inicialmente cinco (5) tratamentos sendo o primeiro com 1 linha de corrente, o segundo com 2 linhas de corrente o terceiro com 3 linhas de corrente, o quarto com 4 linhas de corrente e por fim, o tratamento cinco como controle, sem linha de corrente. Com isso objetiva-se chegar em uma solução que diminua a flecha excessiva causada pela esbeltez da peça.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será estruturado em 7 capítulos. Onde o Capítulo 1 abordará a introdução como mostrada acima, o capítulo 2 demonstrará o estudo da arte como referencial teórico utilizado como embasamento para a pesquisa sobre o concreto armado e protendido, o capítulo 3 explicitará o referencial teórico sobre o pré-fabricado e apontará os problemas existentes. O capítulo 4 apresentará a proposta de modelagem para a terça, o capítulo 5 abordará os resultados encontrados e por fim, o capítulo 6 a conclusões obtidas.

## 2 CONCRETO ARMADO E CONCRETO PROTENDIDO

O concreto armado já ocupa a primeira colocação quando se trata de sistema construtivo, a simplicidade para execução e o seu custo reduzido comparado as outras formas construtivas faz com que seja o método mais utilizado atualmente. Os primeiros materiais a serem aplicados foram a pedra como rocha e a madeira, em séculos posteriores o ferro e o aço passam a integrar esse sistema, sendo assim o concreto armado de fato só surgiu em meados da metade do século XIX (BASTOS, 2014).

### 2.1 HISTÓRICO

O concreto é definido como material plástico, que é modelado de maneira a constituir um formato esperado, antes que se inicie o processo de endurecimento, conseguindo uma resistência peremptória para suportar com sua própria forma aos esforços no qual será solicitado (ARAÚJO ,2010; KAEFER, 1998).

**Figura 4 - Desenho publicado em 1859 mostrando a utilização do concreto**



Fonte: KAEFER, 1998

De acordo com a sociedade de testes e materiais (ASTM), o concreto é um material compósito, formado por um meio aglomerante no qual estão incorporadas partículas de diferentes ascendências.

A NBR 12655 (ABNT,2006) conceitua o concreto como uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem englobar componentes minoritário (aditivos químicos e adições de materiais alternativos), que escala suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

O homem, impulsionado pela constante evolução ocasionada pelo tempo, começou a explorar novos meios de sobrevivência, em consequência foram deixando os seus abrigos que antes era em árvores e cavernas e partiram no desbravamento pela a busca de materiais que atendessem suas necessidades, como a madeira e pedra para assim ter a possibilidade de iniciar a construção de novas moradias (FERNANDES, 2015).

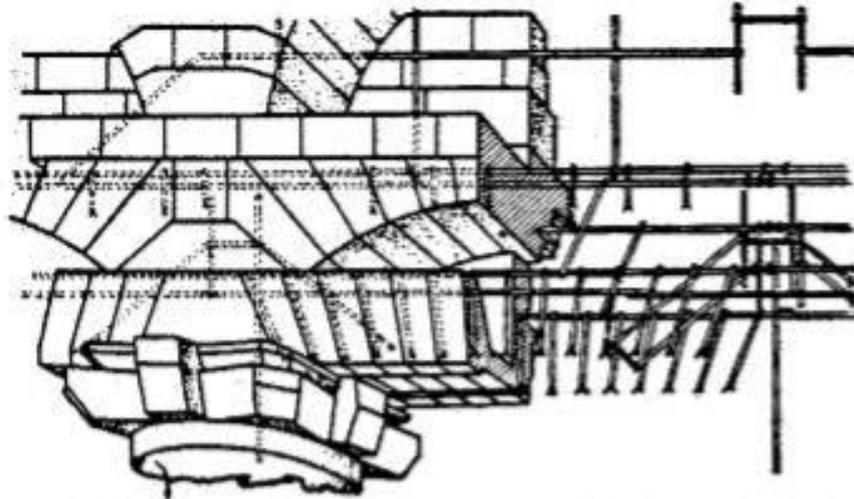
Os materiais devem oferecer sua capacidade máxima em sua atuação e que para um elemento da construção ser considerado eficiente no trabalho que será aplicado, ele deve apresentar dois pré-requisitos básicos: durabilidade e resistência. Partindo desse conceito, a rocha quando aplicada em formas onde o esforço solicitante era o de compressão o seu desempenho era satisfatório, e contendo um durabilidade elevada, todavia quando locada em forma que a resistência a tração era a solicitada o seu resultado não era positivo, já a madeira tinha propriedades inversas a pedra, a sua resistência a tração era superior a sua resistência a compressão, e sua durabilidade limitada (PASTRO,2010).

Solidifica sobre a aparição do concreto armado na história, descrevendo em um trecho do seu livro que ele surgiu com a associação do ferro com a pedra natural. Modernamente considera-se o aparecimento do cimento armado em meados de 1770 na estrutura da igreja de Santa Genoveva, hoje *Pantheon*, em Paris (Figura 5). Segundo seu arquiteto, Jacques Germain *Soufflot*, a intenção era de reunir nesta obra a leveza do gótico com a pureza da arquitetura grega. Existindo poucas colunas na fachada, era necessário executar grandes vigas capazes de efetuar a transferência das elevadas cargas da superestrutura para as fundações. Com o senso admirável de *Rondelet* foram executadas em pedras lavradas, verdadeiras vigas modernas de concreto armado, com barras longitudinais que eram enfiadas em furos executados artesanalmente nas pedras, já os espaços vazios eram preenchidos com argamassa de cal. (BOTELHO e MARCHETTI, 2011)

Contudo o concreto armado teve uma enorme evolução desde as primeiras construções até chegar na forma atual conhecida. A ideia de utilizar materiais dúcteis e frágeis tem fortes pontos na mesopotâmia, tendo em vista que a escassez de matérias prima, a pedra e a madeira,

observaram a necessidade de desenvolver uma solução para continuarem construindo, essa solução veio e desenvolveram o tijolo de barro com fibras de vegetais, pois já conheciam a fragilidade dos tijolos comuns quando sujeitado ao esforço de tração (KAEFER,1998).

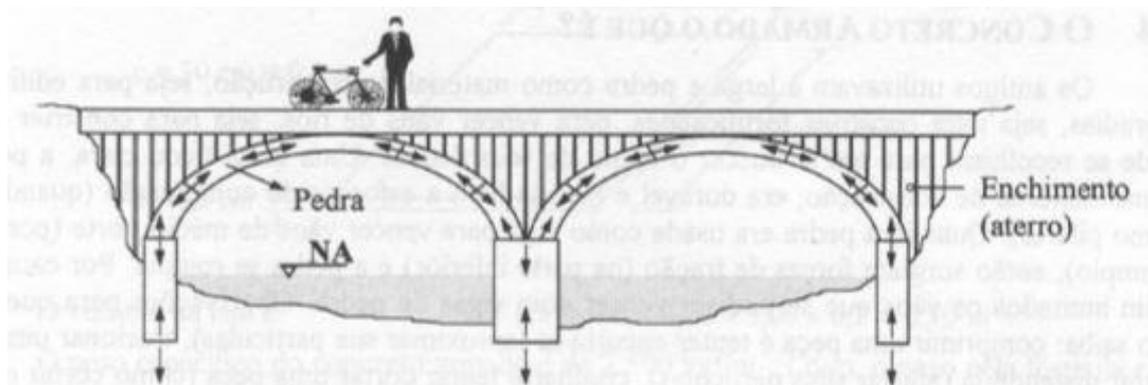
**Figura 5 - Alvenaria de pedra armada, *Pantheon de Paris***



Fonte: KAEFER, 1998

Os antigos utilizavam a pedra larga como material de construção, seja para edificar suas moradias, seja para construir fortificações, para vencer vãos de rios, seja para construir templos onde se recolhiam para tentar buscar o apoio de seus deuses. Uma coisa ficou clara: a pedra era ótimo material de construção; era durável e resistia bem a esforços de compressão, quando usadas como pilares. Quando a pedra era usada como viga para vencer vãos de médio porte, pontes por exemplo, então surgiu forças de tração e a pedra se rompia na sua parte inferior. Por causa disso eram limitados os vãos que se podiam vencer com vigas de pedra (BOTELHO E MARCHETTI, 2011).

**Figura 6 - Ponte feita de pedra em formato de arco**



Fonte: BOTELHO, 2011

A ideia de associar barras metálicas a pedra ou argamassa, com a finalidade de aumentar a resistência, é vista durante a recuperação das ruínas das termas de Caracala em Roma, notou-se a existência de barras de bronze dentro da argamassa de pozolana, em pontos onde o vão a vencer era maior que o normal. E por volta de 1850, o engenheiro francês Joseph Louis Lambot efetuou suas primeiras experiências práticas publicadas no que diz respeito à introdução de ferragens em massas de cimento. A suposição baseia-se no registro da data de uma obra sua nas Forjarias Carcés, estabelecimento localizado na comunidade de Carcés, departamento de Var, sul da França, onde foi construída uma parede de argamassa armada com grande número de barras finas de ferro (KAEFER,1998).

**Figura 7 - Joseph Louis Lambot e o protótipo de seu barco**



Fonte: LAMBOT, 2008

Imerso nos estudos sobre o concreto armado e estimulado por sanar questões com a manutenção de canoas fabricadas de madeira, surge a ideia de se construir um barco de concreto, e já conhecendo as propriedades de sua resistência já sabia que as manutenções seriam minimizadas. A estrutura constituía-se por uma malha de barras finas entremeadas com barras mais grossas e concreto, em 1855 Lambot apresenta o seu trabalho na exposição mundial de Paris juntamente com a requisição de patente de seu trabalho, entretanto o concreto só teve visibilidade tempos depois. Posteriormente ao observar o trabalho de Lambot, Joseph Monier um jardineiro que fabricava vasos frágeis, começaram a usar malhas de aço. Monier movido pelo desejo de conhecimento, a cada ano progredindo com seus testes avança com os estudos ao ponto de chegar a pequenos reservatórios de água de 25 m<sup>3</sup>, que foram se desenvolvendo até chegar em grandes reservatórios de 180 a 250 m<sup>3</sup>. Monier também foi o autor de uma das primeiras pontes de concreto armado do século XIX (VASCONCELLOS, 2002).

**Figura 8 - Joseph Monier e a primeira ponte em concreto armado de sua autoria**



Fonte: WALTER (*apud* APPLETON, 2005)

O concreto armado é uma ligação solidária, de concreto com uma estrutura resistente a tração que em geral é o aço, (SERGIO,2006). A NBR 6118/03 (item 3.1.3) define como, aqueles que cujo comportamento estrutural dependa da aderência entre concreto e armadura e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência. A armadura proveniente do concreto armado é denominada armadura passiva que pode ser definida pela NBR 6118/03 (item 3.1.3) como, qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada e assim solicitada de forma a ser utilizada.

Para que se possa obter uma harmonização entre aço-concreto eficiente é imprescindível que esta seja quantificada em relação a tensão de aderência versus deslizamento, na qual a oscilação da tensão que aparece na interface do aço com o concreto seja manifestada devido a sua variação (TASSIOS, 1979).

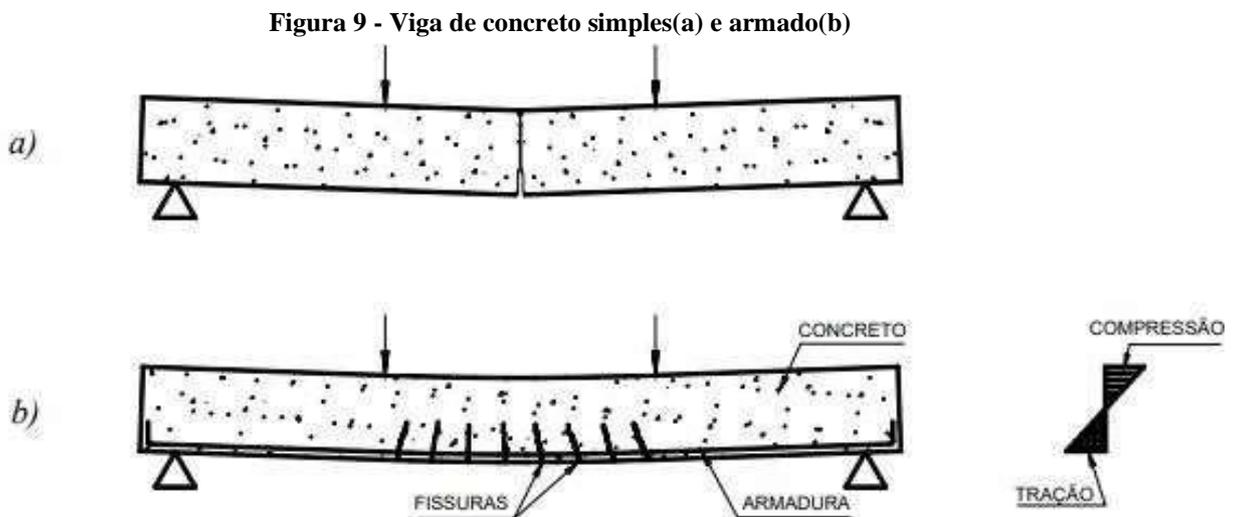
Em seu livro Araújo (2010) descreve que o concreto armado tem inúmeras vantagens sobre os demais materiais estruturais, como:

- Economia: Destacando o Brasil, aqui os seus componentes são facilmente localizados e ponderamente abaixo do custo;
- Facilidade de execução em diversos tipos de formas: Deve-se essa facilidade por se tratar de um material plástico e possuir um alto coeficiente de trabalhabilidade;
- Resistência ao fogo, aos agentes atmosféricos, e ao desgaste mecânico, desde que a armadura esteja com o cobrimento de acordo com a NBR:6118:2014;
- Adaptabilidade: Permite facilmente a execução de estruturas hiperestáticas, além de favorecer a arquitetura.

Por outro lado, o autor apresenta que o concreto armado apresenta algumas desvantagens, sendo elas:

- O elevado peso das construções;
- Dificuldades para a execução de reformas ou demolições;
- Possui uma menor proteção térmica e sonora;
- Pode ocorrer a fissuração.

Temos a representação desse conceito na figura a seguir, onde o exemplo “a” trata-se de uma viga de concreto simples, ou seja, uma viga sem armadura de aço, e como podemos notar o seu rompimento acontece no centro de sua estrutura com uma fissura súbita da face superior a face inferior da viga. Observando agora o pórtico “b”, uma viga de concreto armado, onde possui barras metálicas longitudinais em sua parte inferior tornando-a mais resistente a flambagem, ao aplicar uma carga sobre a viga as barras metálicas estarão sendo tracionadas combatendo o momento fletor da peça e assim impedindo o cisalhamento brusco, onde as fissuras formadas estão no sentido de diagonal e são geradas ao longo da viga (PFEIL, 1998).



Fonte: PFEIL,1998

Em 1931, o Brasil publica sua primeira norma sobre o concreto armado, logo após ter construído dois recordes mundiais em altura, o edifício, *a Noite*, no Rio de Janeiro, e *Martinelli*, em São Paulo, ambos com mais de 100 m de altura (HELENE, 2007).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define concreto protendido como: “aquele nos quais parte da armadura é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite ultimo (ELU)”.

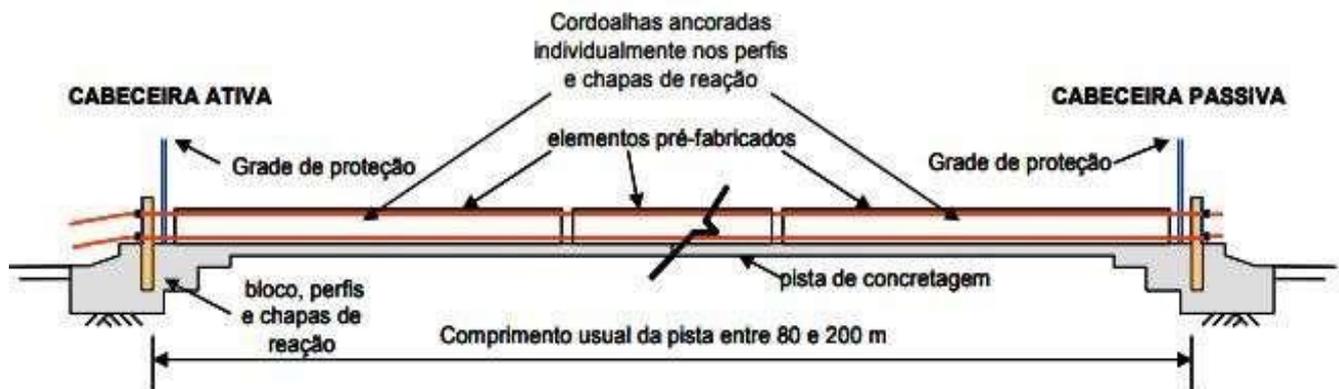
O Concreto protendido é um refinamento do concreto armado, onde a ideia básica é aplicar tensões prévias de compressão nas regiões da peça que serão tracionadas pela ação do carregamento externo aplicado. Desse modo, as tensões de tração são diminuídas ou até mesmo anuladas pelas tensões de compressão pré-existentes ou pré aplicadas. Com a protensão contorna-se a característica negativa de baixa resistência do concreto a tração (SANTOS; MESSIAS; FERNANDES; LEITE; BENAROSH,2015).

A definição de armadura ativa de protensão pode ser descrita como barras, fios isolados ou cordoalhas, destinada a produção de forças de protensão, ou seja, na qual se aplica um pré alongamento inicial. Já as armaduras passivas são conceituadas como qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é que não seja previamente alongada (HANAL,2005).

Pesquisadores como França (2012), Cabral (2012), Nilson Júnior (2012) consideram que as armaduras ativas podem ser divididas em:

- Pré-Tracionadas: O pré alongamento é feito utilizando-se apoios independente do elemento estrutural, antes do lançamento do concreto. A armadura fica aderente ao concreto em toda a extensão do elemento. Os sistemas pré- tracionados são mais indicados para instalações fixas, fábricas e pistas de protensão;
- Pós tracionada: Os cabos são esticados após a cura do concreto. A armadura protendida é ancorada nas extremidades do próprio elemento estrutural, podendo ficar aderente ao concreto ao longo do elemento por meio da injeção da nata de cimento dentro de bainhas. Pode-se também ter protensão sem aderência. Os sistemas pós-tracionados são mais utilizados quando a protensão é realizada na obra.

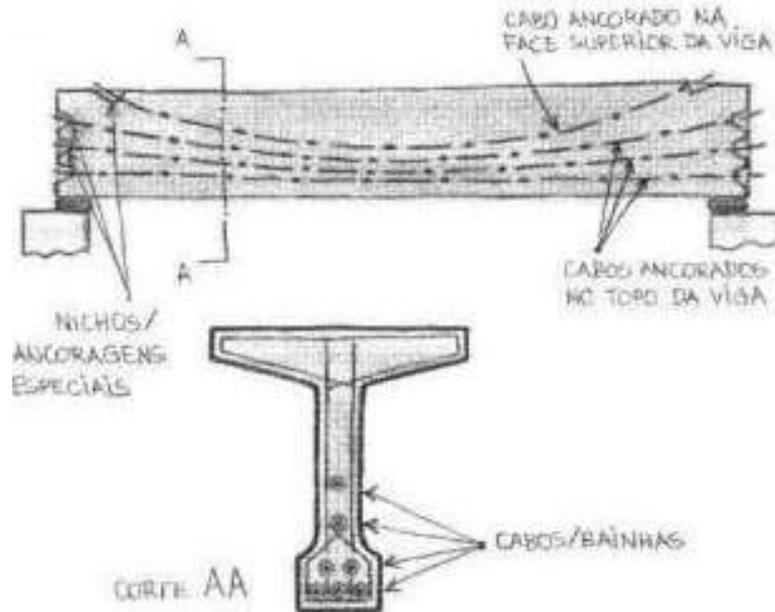
Figura 10 - Esquema de uma pista de protensão pré-tracionada



Fonte: HANAL, 2005

A armadura utilizada na protensão, não está aderida ao concreto, uma vez que os cabos estavam passantes (livremente, a não ser pelo atrito) pelas bainhas. A aderência entre cabos e bainhas e por conseguinte com todo o elemento estrutural de concreto é feita pela injeção, com equipamento apropriado de calda de cimento no interior das bainhas de modo a preenchê-la corretamente (HANAL, 2005).

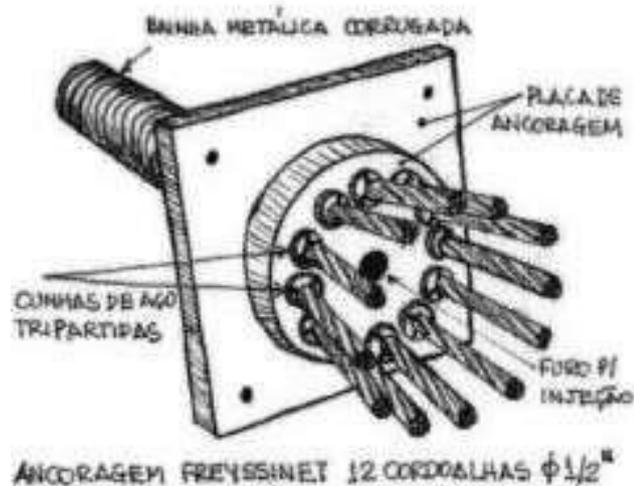
**Figura 11 - Exemplo de aplicação: protensão com aderência posterior**



Fonte: HANAL, 2005

A figura 12 mostra um exemplo detalhado da ancoragem presente na execução da protensão.

**Figura 12 - Exemplo de ancoragem com cunhas de aço**



Fonte: HANAL, 2005

A protensão do concreto traz melhorias no desempenho e na segurança das estruturas com a redução da fissuração, garantindo maior proteção das armaduras, inibindo o fenômeno da corrosão, reduz os deslocamentos finais, propiciam seções mais esbeltas, vão maiores e por consequência estruturas mais leves (SANTOS et al., 2015).

## 2.2 NORMATIZAÇÃO

As normas são indispensáveis ao se realizar projetos e execuções de estruturas, com elas se tem um respaldo certificado de que foi estudado a melhor forma para determinado assunto. São regulamentadas por um comitê de cada nacionalidade, órgãos setoriais e um comitê de estudos, representado por pesquisadores do setor envolvido, formado por: produtores, consumidores e neutros.

### 2.3 NBR 6118:2014

Segundo a NBR 6118:2014 (ABNT, 2014) p. 115, item 16.2.3 diz quando se define as dimensões e analisa uma estrutura, é necessário entender que o que se está verificando realmente são seções de elemento. É a segurança dessas seções que pode, usualmente ser expressa analiticamente. Em relação aos ELU, além de se atestar a segurança adequada, isto é, uma probabilidade suficientemente pequena de ruína, é necessário garantir uma boa ductilidade, de forma que uma eventual precipitação apareça fissuras na estrutura, para que assim seja possível ser notada pelos usuários.

De acordo com a NBR 6118:2014 (ABNT, 2014) p. 47, item 9.6.1.2 diz que durante as execuções de protensão, o esforço de tração na armadura, não pode transpor os valores decorrentes da limitação das tensões no aço correspondentes a essa situação transitória.

### 2.4 NBR 9062:2017

Segundo a NBR 9062:2017 (ABNT, 2017) p.13, item 6.1.1.1, diz que para verificação da estabilidade lateral das vigas, devem ser considerada as fases de carregamento previstas em item 5.2.1.4 da norma. Na inexatidão de cálculo minucioso, para o saque, o manuseio e montagem, pode-se adotar o prescrito na ABNT NBR 6118, considerando, para verificação, o vão compreendido entre os pontos de içamento.

A NBR 9062:2017 (ABNT, 2017) p. 18, item 7.2.1.1, cita que os apoios de elementos pré-moldados entre si, ou de elementos pré-moldados sobre os outros elementos de concreto moldado no local, exceto os apoios de pilares sobre suas fundações. Os elementos pré-moldados podem ser fundados nos seus apoios fixos: com junta a seco, com intercalação de uma camada de argamassa, com concretagem local, com dispositivos metálicos, com almofadas de elastômero.

### 3 COBERTURAS COM CONCRETO PRÉ FABRICADOS

As coberturas de concreto pré-moldado é um sistema com vários elementos pré-fabricados, no qual podemos citar: Vigas, terças, telhas e calhas.

#### 3.1 HISTÓRICO E CONCEITUAÇÃO

Não se pode ter a data em que começou os pré-fabricados. O próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré moldagem de elementos, fora do local de seu uso. Sendo assim pode-se afirmar que a pré moldagem começou com a invenção do concreto armado (VASCONCELLOS, 2002).

Em 1925 chegou ao Brasil as técnicas do pré-fabricado, onde foram executadas as estacas para fundação do Jockey Clube do Rio de Janeiro. Na figura 13 é mostrada a primeira construção feita com estacas pré-fabricadas.

**Figura 13 - Jockey Clube do Rio de Janeiro**



Fonte: JOCKEY CLUBE, 2002

O Brasil poderia avançar ainda mais na área de pré-fabricado, caso tivesse uma política destinada as pesquisas, mas é inegável que o pré-fabricado tenha avançado bastante no Brasil, mesmo havendo muito terreno a recorrer, o que percorreu até hoje refletem seu potencial.

Apesar dos avanços tecnológicos no cenário mundial, o concreto pré-fabricado no Brasil tem sido pouco explorado. As principais razões de o concreto pré-fabricado ser

subutilizado são: o sistema tributário que penaliza o emprego de elementos pré-fabricados de fábricas, a instabilidade econômica que dificulta planejamento e os investimentos a longo prazo, o conservadorismo dos agentes envolvidos com a Construção Civil, a falta de conhecimento de alternativas em concreto pré-moldado, a escassez de oferta de equipamentos, a indisponibilidade comercial de dispositivos auxiliares para realizar as ligações e o manuseio de elementos. As duas primeiras razões são de natureza macroeconômica. As restantes são culturais ou consequência das primeiras (EL DEBS, 2000).

Em seu item 3.8, a ABNT NBR 9062:2017 (ABNT, 2017) define elemento pré-moldado como “elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura, conforme especificações estabelecidas em 12.1.1” e elemento pré-fabricado como “elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadrem e estejam em conformidade com as especificações de 12.1.2”.

Segundo SALAS (1988) divide os períodos da pré moldagem em três partes:

- 1950 á 1970 - Após a Segunda Guerra mundial houve uma necessidade emergente de se reconstruir edificações, que por consequência da guerra foram devastadas. Os pré-fabricados, então tornaram-se uma opção, buscando a repetição e produção em série, resultando em edificações padronizadas;
- 1970 á 1980 - Nesse período houve um declínio no interesse por edificações pré-fabricadas, por consequência de acidentes em edifícios construídos com painéis pré-fabricados. Logo, viu-se a necessidade de revisar o conceito do uso de elementos pré-fabricados;
- 1980 - Percebeu-se a necessidade de flexibilizar as obras pré-fabricadas de acordo com suas características, abandonando a rigidez e assumindo um ciclo aberto de pré-fabricados.

Um grande exemplo de construção pré-fabricadas são os galpões, que em sua grande maioria são constituídos de pilares engastados nas fundações onde nesses pilares são apoiadas as vigas de cobertura (Vigas, Terças, calhas), podendo ou não ter fechamento lateral. Na figura 14 é ilustrado um exemplo de galpão.

**Figura 14 - Galpão pré-fabricado**

Fonte: LEONARDI PRÉ-FABRICADOS,2019.

As vigas de cobertura, recebem as cargas das terças, calhas e telhas. Em geral, as vigas de cobertura são apoiadas em pilares, podendo ter ou não consolos, caracterizando um elemento isostático. As vigas, travam o topo dos pilares e trabalhando em conjunto, formando os pórticos. Por se tratar de vigas com grandes vãos, as mesmas podem ser protendidas e na execução é exigido um controle rigoroso de qualidade.

A montagem dessas peças devem seguir o padrão de qualidade prescrito na NBR 9062:2017 item 12.10, onde subscreve: realizar a verificação da locação e dos níveis da fundações de forma a atender às prescrições da NBR 6122 e ao disposto 5.2.2, verificação da montagem dos pilares, dos elementos de forma, execuções das ligações, execução de: formas, armações e concreto moldado in loco, verificação dos acabamentos descritos no projeto.

Segundo Manual Munte (2007), a cobertura em sistemas de concreto pré-fabricado tem como vantagem solucionar tanto a viabilização da cobertura em si tanto como integrar a adaptação a condução da água pluvial. Na figura 15 podemos ver um conceito básico de cobertura pré-fabricada.

**Figura 15 - Cobertura em concreto pré-fabricado**



Fonte: ROCHA CONSULTORIA E PROJETOS, 2019

### 3.2 FLEXÃO E FLAMBAGEM

De acordo com a NBR 9062:2006, para a verificação da estabilidade lateral de vigas, devem ser consideradas as fases de carregamento durante a fabricação, manuseio, armazenamento, transporte, montagem e construção.

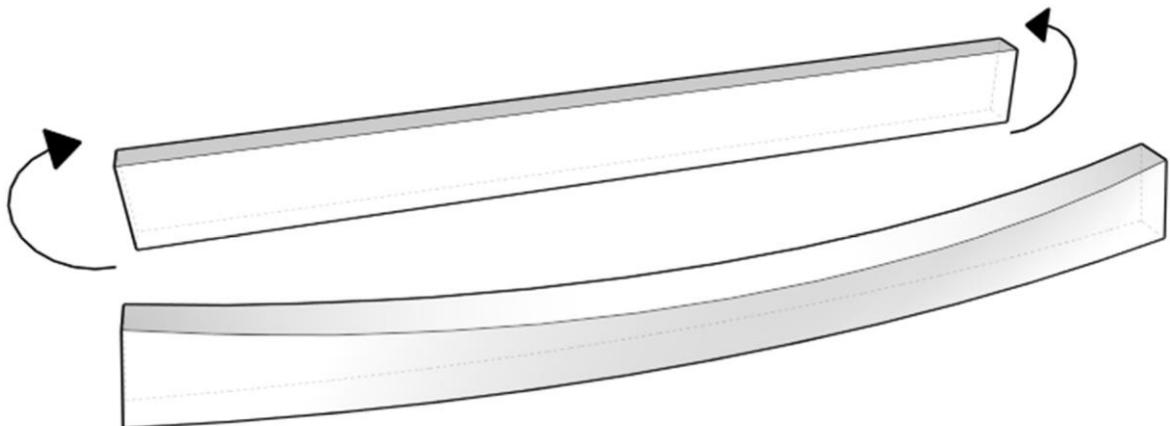
Durante o içamento e o transporte a viga pode flambar lateralmente sendo que o içamento é considerado a fase mais crítica, essa fase transitória faz com que os vínculos temporários deixam de restringir a torção e a rotação e assim fazendo com que a peça perca o equilíbrio e cause esse deslocamento lateral, principalmente no meio do vão, pois a rigidez á flexão no plano vertical é bem maior que a rigidez lateral.

Na Figura 16 é mostrada uma viga sendo içada, esse procedimento abordado anteriormente como a fase em que a viga gira em torno do eixo longitudinal causando instabilidade lateral.

**Figura 16 - Içamento da viga**

Fonte: PREFOR ESTRUTURAS E PRÉ-MOLDADOS, 2019.

Segundo El Debs (2000) em geral, as estruturas de concreto não apresentam problemas de estabilidade lateral. No entanto, em se tratando de concreto pré-fabricado, deve-se tomar cuidado com a possibilidade desse fenômeno, pois os elementos podem ter seções transversais de dimensões menores que as correspondentes das estruturas de concreto moldado no local (como consequência do uso de seções de maiores rendimentos mecânicos e de concreto de resistências mais elevadas) e estão sujeitos a situações transitórias com vinculações provisórias, conforme o exemplificado na Figura 17.

**Figura 17 - Viga com flambagem na região comprimida**

Fonte: QISUPORTE ALTO QI, 2019

A norma NBR 6118:2014, (ABNT, 2014) no item 15.10, prescreve que a segurança a este efeito deve ser garantida através de procedimentos apropriados. Como um procedimento aproximado, a norma indica que se pode verificar a largura da seção comprimida da viga com alguns limites, isto é:

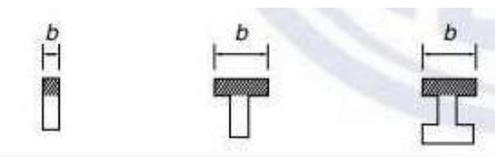
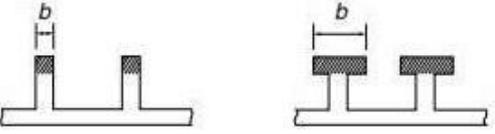
$$b \geq \frac{l_0}{50} \quad (3)$$

$$b \geq \beta_{fl} \times h \quad (4)$$

Onde:

- $b$  é a largura da zona comprimida da viga;
- $h$  é a altura total da viga;
- $l_0$  é o comprimento do flange comprimido, medido entre os suportes que garantam contraentamento lateral;
- $\beta_{fl}$  são um coeficiente que depende do formato da viga, cujos valores estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de  $\beta_{fl}$

Tipologia da viga	Valores de $\beta_{fl}$
	0,40
	0,20

Onde:



Zona comprimida

Fonte: NBR 6118, 2014 (adaptada)

As vigas longas e altas, com pouca rigidez lateral, em especial nas situações transitórias, são mais susceptíveis a perda de estabilidade lateral. A perda da estabilidade lateral pode ocorrer nas situações definitivas, após a montagem dos elementos. No entanto, como neste caso normalmente existem vínculos que restringem a rotação dos elementos nos apoios, esse fenômeno não apresenta, geralmente, maiores problemas (EL DEBS, 2000).

Já na questão da flexão os elementos de concreto pré-fabricados podem ser protendidos ou não, isso vai ser determinado em função vãos e cargas exigidas. Assim os elementos de concreto pré-fabricados podem ser protendidos ou não, isso vai ser determinado em função vãos e cargas exigidas. Assim o cálculo à flexão de elementos de concreto pré-fabricados vai depender da utilização ou não a protensão.

De acordo com o esforço que mais influência no dimensionamento de uma estrutura é o da flexão. Isso porque a é calculado o momento fletor, momento fletor é descrito como a somatória dos momentos simples para cada seção da estrutura. Sob ação de sobrecargas as tensões de tração originadas pela flexão quando ultrapassam as tensões iniciais de forma que, durante a deformação o concreto apresentará fissuras ao longo de sua estrutura (HERMELY; ADÃO, 2010).

Para o caso de flexão simples, o dimensionamento deve ser feito levando em conta as hipóteses básicas de cálculo apresentada abaixo na NBR 6118:2014:

- Hipótese das seções planas: Admite-se que a seção transversal após a flexão permanece plana, assim podendo considerar a distribuição linear das deformações normais na seção transversal.
- Aderência perfeita: Admite-se uma aderência perfeita entre aço e concreto, logo podendo considerar que aço terá a mesma deformação na região em que se encontram.
- Concreto em tração: Admite-se que concreto não resista a tração, por ser um material plástico do tipo poroso, sendo assim desconsiderado a contribuição do concreto na região tracionada.

Com isso podemos conhecer a deformação específica de cada elemento, concreto e aço. A NBR 6118:2014 estabelece limites máximos de deformação do aço e do concreto, sendo do aço a deformação máxima de 10 ‰ e do concreto estabelecido por fórmula:

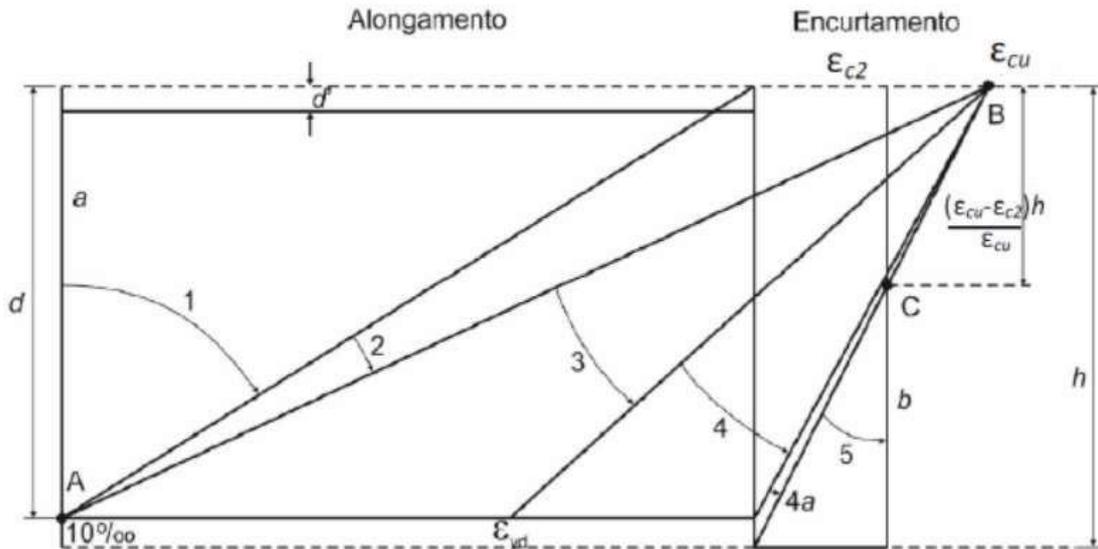
Além do mais, a distribuição das tensões do concreto comprimido pode ser feita simplificadamente por diagrama parábola-retângulo, com tensão máxima de  $0,85f_{cd}$  e sua altura igual a  $0,8x$ .

Ainda a norma NBR 6118:2014 estabelece que a relação da altura da linha neutra com a altura útil deve ser menor de 0,45 para concreto com  $f_{ck}$  abaixo de 50MPa e menor que 0,35 para  $f_{ck}$  maior que 50 MPa e menor que 90 MPa.

Também orienta que para um maior aproveitamento dos materiais é aconselhável que a peça esteja trabalhando na divisa dos domínios 3 e 4 explicitado na Figura 18. O Anexo A possui uma tabela de KMD correlacionada com KX e KZ assim, obtendo o valor de KZ podemos ter a área de aço necessária de aço (CARVALHO, 2016).

Tendo em consideração as deformações no estado limite último, ou seja, onde há ruptura da seção temos os domínios de dimensionamento, abaixo encontra-se imagem com todos os domínios de dimensionamento.

**Figura 18 - Domínios de Deformação**



Fonte: NBR 6118, 2014

Segundo Carvalho (2016) com a distribuições das forças na seção transversal e o equilíbrio delas é possível determinar a área de aço necessária, abaixo segue as expressões matemática para obtenção desse equilíbrio.

$$A_s = \frac{Md}{Z * f_{yd}} \quad (5)$$

$$K_{md} = \frac{Md}{b_w * d^2 * f_{cd}} \quad (6)$$

Onde:

- $A_s$  – Área de aço;
- $Md$  – É o momento fletor de cálculo solicitante;  $Z$  – Braço de alavanca ( $z = d - 0,4x = Kz$ );
- $f_{yd}$  – Tensão atuante no aço ( $f_{yd} = f_{yk} / 1,15$ );  $b_w$  – Largura da seção;
- $d$  – Altura útil;
- $f_{cd}$  – tensão resistente do concreto;
- $K_{md}$  – Fator Adimensional para dimensionamento.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho partiu de uma problemática técnica onde terças pré-fabricadas com vãos de 12m a 12,5m quando submetidas a cargas do peso próprio, cargas do telhado, cargas acidentais, fora de seu eixo, tendem a sofrer com flambagem lateral e flecha excessiva devido a sua esbeltez e em alguns casos este grande deslocamento pode fazer com que algumas peças chegam a perder a sua utilidade, e a mesma seja descartada.

A peça foi modelada em um programa comercial TQS/PREO®, que é um programa destinado para cálculo de pré-fabricados de maior uso por engenheiros civis na área de projetos de estruturas, e como falado anteriormente vamos desconsiderar o vento devido ao peso da peça ser maior e o vento não obter grande influência nos resultados e também por o TQS possuir limitações no carregamento do vento. A primeira modelagem estrutural foi realizada no programa comercial CAD/ TQS em sua versão 19.2, com a sequência descrita abaixo:

1. Elaboração do modelo a partir dos critérios padrões do programa;
2. Modelo estrutural do edifício: VI;
3. Definição dos pavimentos;
  - a. Térreo:
  - b. Cobertura :
4. Configuração das características do projeto;
  - a.  $f_{ck}$  das terças igual a 40 Mpa
  - b. Classe de agressividade ambiental: II – Moderada – Urbana – Clima seco
  - c. Rígido controle de qualidade
5. Cobrimentos;
  - a. terças pré-fabricados: cob= 2 cm
6. Lançamento dos elementos estruturais;
  - a. Apoio das terças;
  - b. Terças
7. Lançamento das cargas lineares diretamente sobre a terça de cobertura;
  - a. Carga permanente: 4,96 kgf/ m<sup>2</sup> - (Telha TP100)
  - b. Carga acidental: 25 kgf/ m<sup>2</sup> (de Norma)
  - c. Peso próprio da peça: 62,83 kgf/ m
  - d. Intereixo da peça: 3,00 m

A telha escolhida foi uma trapezoidal 100mm da Isoeste, cuja especificação técnica está descrita na Figura 19.

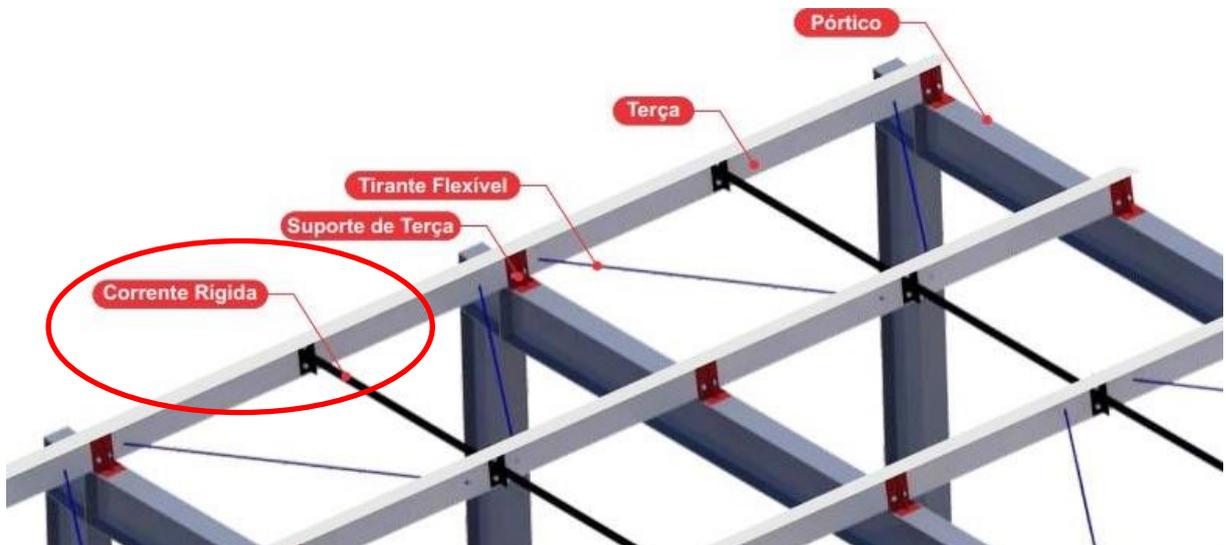
Figura 19 - Especificação técnica da telha TP100- ISOESTE

TRAPEZOIDAL TP-100																										
Nº de Apoios	Espes. Aço (mm)	Peso (kg/m²)	Distância entre apoios ou vãos																							
			3,00		3,15		3,35		3,50		3,75		4,00		4,15		4,35		4,50		4,75		5,00			
			COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC		
▲▲	0,50	4,96	105	105	100	100	88	88	78	78	70	70														
	0,65	6,44	144	144	133	133	117	117	103	103	92	92	82	82	73	73										
▲▲▲	0,50	4,96	105	105	100	100	88	88	78	78	70	70														
	0,65	6,44	144	144	133	133	117	117	103	103	92	92	82	82	73	73										
▲▲▲▲	0,50	4,96	135	135	125	125	110	110	98	98	89	89	78	78	70	70										
	0,65	6,44	180	180	168	168	148	148	131	131	116	116	104	104	93	93	84	84	77	77	70	70				

Fonte: CATÁLOGO ISOESTE, 2019

Na figura 20 mostra a linha de corrente ou corrente rígida, foi usado como exemplo um galpão metálico, visto que não se tem exemplos de sua aplicação em galpões pré fabricados.

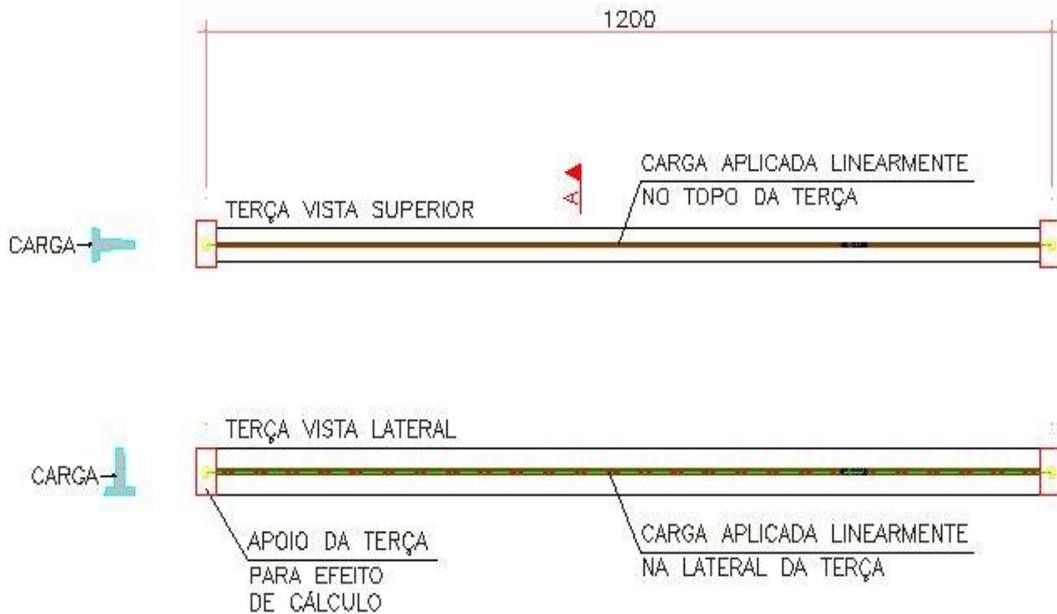
Figura 20 – Exemplo de linha de corrente em galpão metálico



Fonte: CATÁLOGO ISOESTE, 2019

Na primeira etapa, com a peça modelada iremos analisar os esforços gerados pelo software com a terça sem nenhum travamento lateral, e com esta análise poderemos obter os resultados referente ao deslocamento lateral causada pela sua esbeltez.

**Figura 21 - Modelagem da terça sem nenhuma linha de corrente**

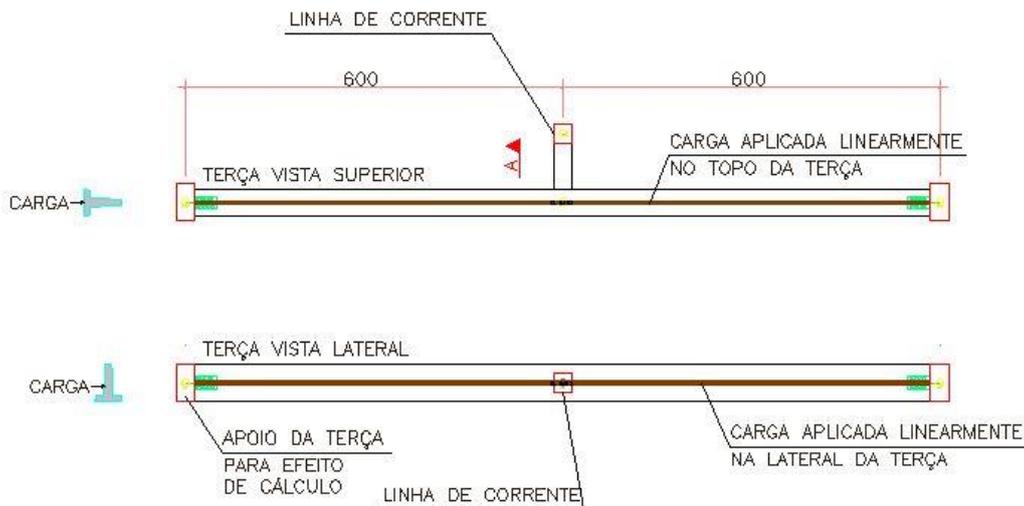


Fonte: PRÓPRIO AUTORES, 2019.

Em seguida, depois de verificada a peça sem nenhuma linha de corrente e anotado os valores obtidos pelo TQS, iremos inserir uma linha de corrente no centro da peça.

Por limitação do TQS, tivemos que rotacionar a peça em 90 graus e assim lançar a carga desejada para efeito de cálculo, como mostrado na Figura 21:

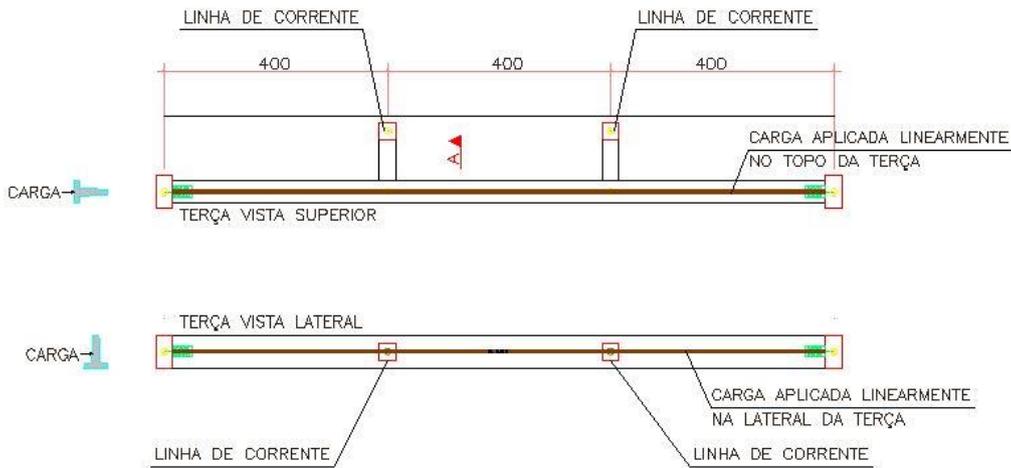
**Figura 22 - Modelagem da terça com 01 linha de corrente no centro da peça**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Em etapa seguinte, depois de verificada a peça com uma linha de corrente e anotado os valores obtidos pelo TQS, iremos inserir duas linhas de corrente na peça. A Figura 23 abaixo mostra a posição onde foi inserido os travamentos na lateral da terça.

**Figura 23 - Modelagem da terça com 02 linha de corrente**

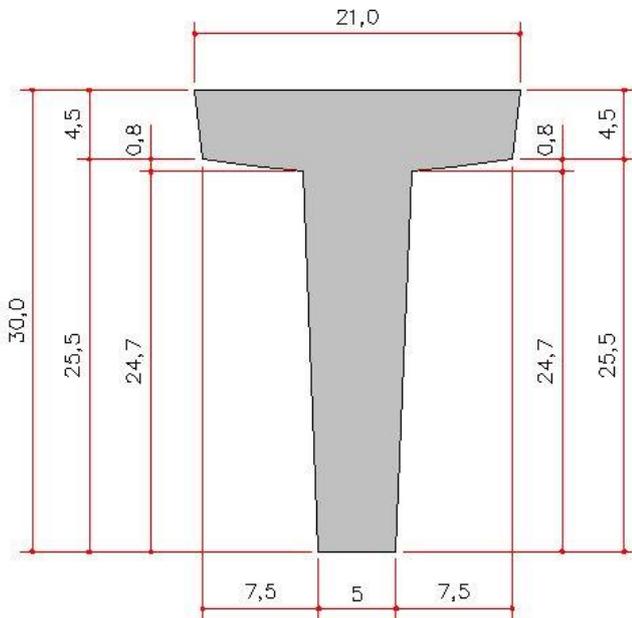


Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

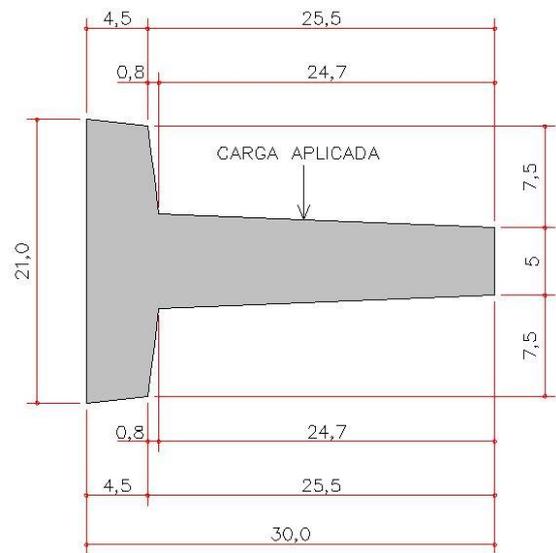
**4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA TERÇA PRÉ-FABRICADA**

A terça em estudo tem 21cm de mesa superior com uma base de 4,5cm, alma de 5,0cm e uma altura total de 30cm, conforme a Figura 24a:

**Figura 24 - (a) Seção transversal da terça**



**(b) Posição onde foi aplicada a carga**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

As características da terça pré-fabricada são:

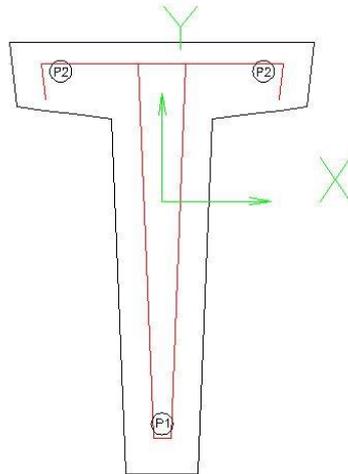
- Área da seção : 251.3cm<sup>2</sup>
- Perímetro da terça: 97.6cm
- Inércia em X: 2.039480e+004cm<sup>4</sup>

- Inércia em Y:  $3.891594e+003\text{cm}^4$

Na figura 24b com a terça rotacionada, foram aplicadas cargas para efeito de cálculo, com isto obtivemos os resultados das flechas lateral da peça, sem linhas de corrente, com uma linha de corrente e com duas linhas de corrente e por se tratar de peças pré-fabricadas foi rotulado os apoios e não foram considerados redutores de carga (PSI) no carregamento.

No dimensionamento das peças foi utilizado 2 cordoalhas de 4,2mm na parte superior e uma cordoalha de 4,2mm na parte inferior, com estribos de 5mm distribuídos ao longo da seção longitudinal da terça, como mostra a Figura 25.

**Figura 25 - Armação utilizada na peça**



Fonte: PRÓPRIO AUTORES, 2019.

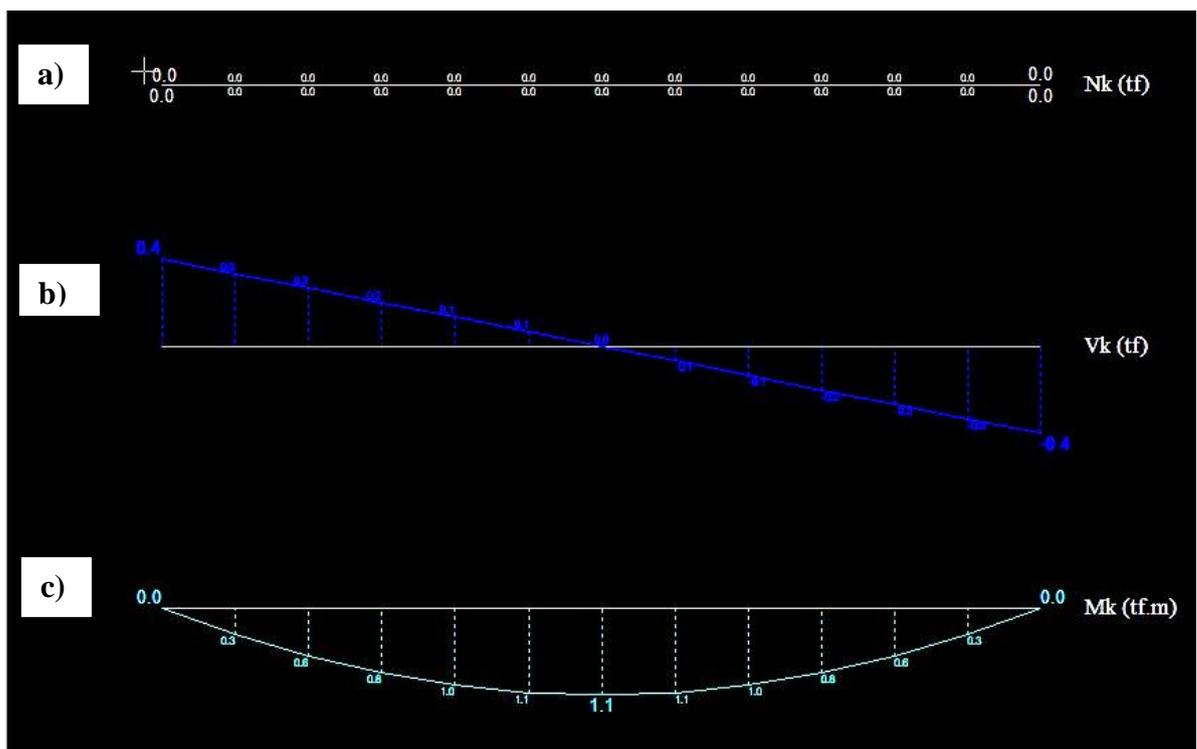
## 5 RESULTADO E DISCUSSÕES

Através do software TQS geramos os diagramas e gráficos do nosso estudo, com essas análises conseguimos ver na prática os efeitos das cargas em nossa peça.

### 5.1 DIAGRAMA DE ESFORÇOS

A figura 26(A) mostra o resultado do esforço força normal processados com os dados de entrada apresentados na metodologia. A figura 26(B) mostra o diagrama do esforço de força cortante, que seria o ponto de cisalhamento da peça. A figura 26(C) mostra o diagrama de momento fletor, para gerar esses diagramas consideramos somente o peso próprio da terça.

Figura 26 – Esforços peso próprio terça



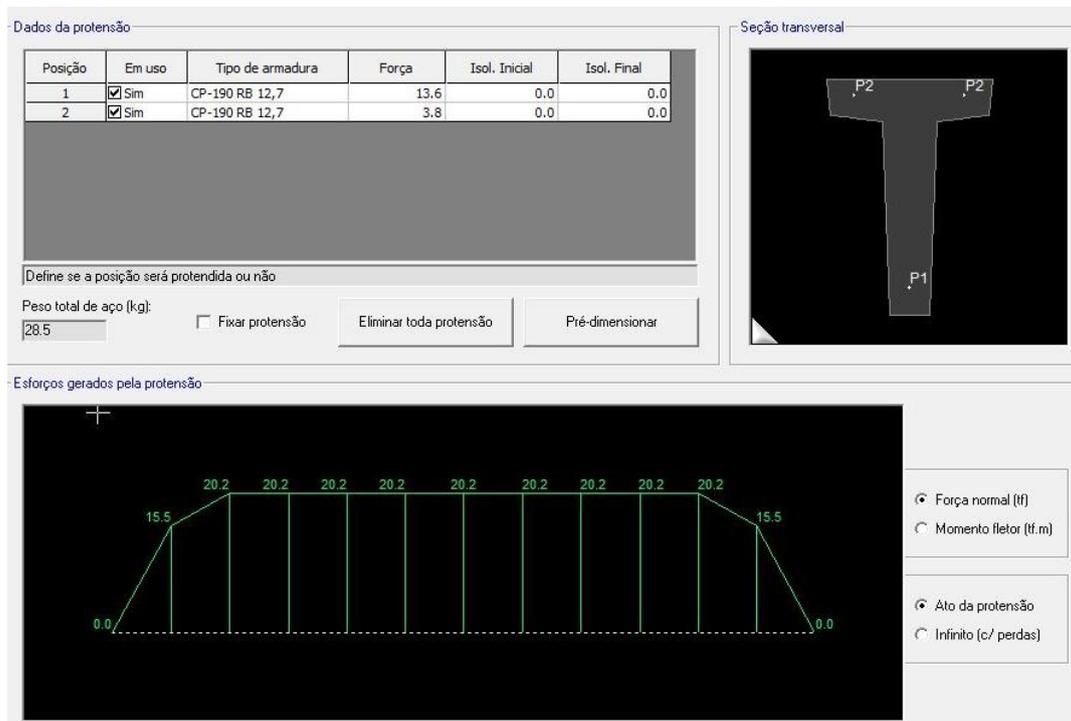
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

A) O esforço normal é o somatório de todas as forças vinda de um mesmo lado da seção, incluindo suas projeções, resultando assim em efeitos que são esses: compressão e tração. A compressão é quando o esforço normal tende a esmagar a peça, onde duas forças  $N$  estão em direção ao centro da peça, obrigando a um aumento em sua seção original, enquanto na tração as duas forças  $N$  seguem no sentido para fora da peça

gerando um alongamento e um decréscimo na seção. O esforço normal na figura 26 está zerado, isto porque a peça não está sofrendo compressão nem tração.

- B) Diagrama de força cortante é uma ferramenta que se utiliza para análise estrutural de uma peça onde ele apresenta o ponto máximo que a estrutura suporta antes de uma falha, promovido pelas forças opostas nela aplicada.
- C) Diagrama de momento fletor é uma ferramenta utilizada para análise estrutural, onde ele apresenta o valor máximo que uma estrutura ou material poderá deformar-se ao ponto de entrar em colapso estrutural.

**Figura 27 - Dados para processamento de protensão**



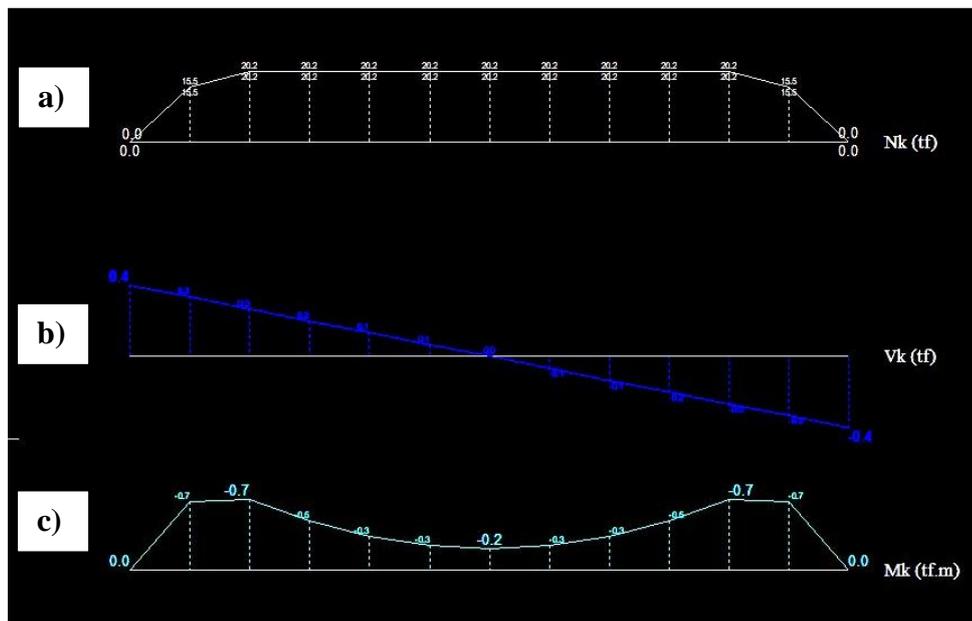
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

A Figura 27(a) plotou o gráfico de força normal da terça com seu peso próprio protendido, o esforço normal que antes estava em zero na figura 27(a), agora apresentou valores, isto devido a protensão, que aumenta a capacidade do concreto a compressão porque ela retira do concreto a necessidade de resistir a tração, transferindo os esforços de tração para as armaduras.

Na Figura 27(b) é mostrado o diagrama de força cortante onde não se teve alteração pela protensão. Na Figura 27(c) é mostrado o diagrama de momento fletor, podemos perceber

que os valores que antes eram positivos agora ficaram todos negativos, que é um resultado da protensão, onde a tensão da protensão é repassada para o concreto, aumentando a resistência do concreto a tração, e com isso podemos vencer vãos maiores em comparação com o concreto armado simples. Para protensão usamos os dados de entrada da Figura 28, P2 localizada na mesa da peça seção “T” é os pontos onde temos cordoalhas com fios de aço protendidos, assim como P1 localizado na base da alma da terça.

**Figura 28 - Resultado peso próprio + protensão**

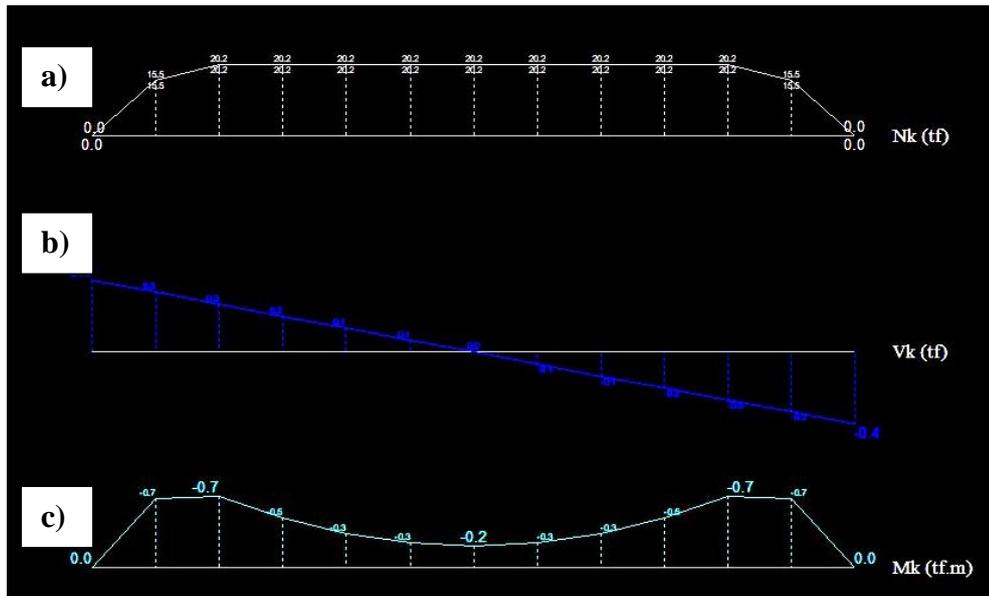


Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Na figura 29(a) é mostrado o diagrama de força normal considerando o peso próprio protendido e com uma simulação de içamento. Na figura 29(b) é mostrado o diagrama de força cortante considerando o peso próprio protendido e com uma simulação de içamento. Na figura 29(c) é mostrado o diagrama de momento fletor onde foi considerado o peso próprio da terça protendida e foi simulado o içamento da peça.

O içamento simulado foi para verificar se durante a movimentação dessa peça em sua montagem afetaria o seu desempenho estrutural, isso porque a peça possui uma grande dimensão e peso. Como pode-se perceber, quando processado não foi visto nenhuma alteração em nenhum dos diagramas, não aprofundamos sobre içamento por não ser objetivo desse estudo.

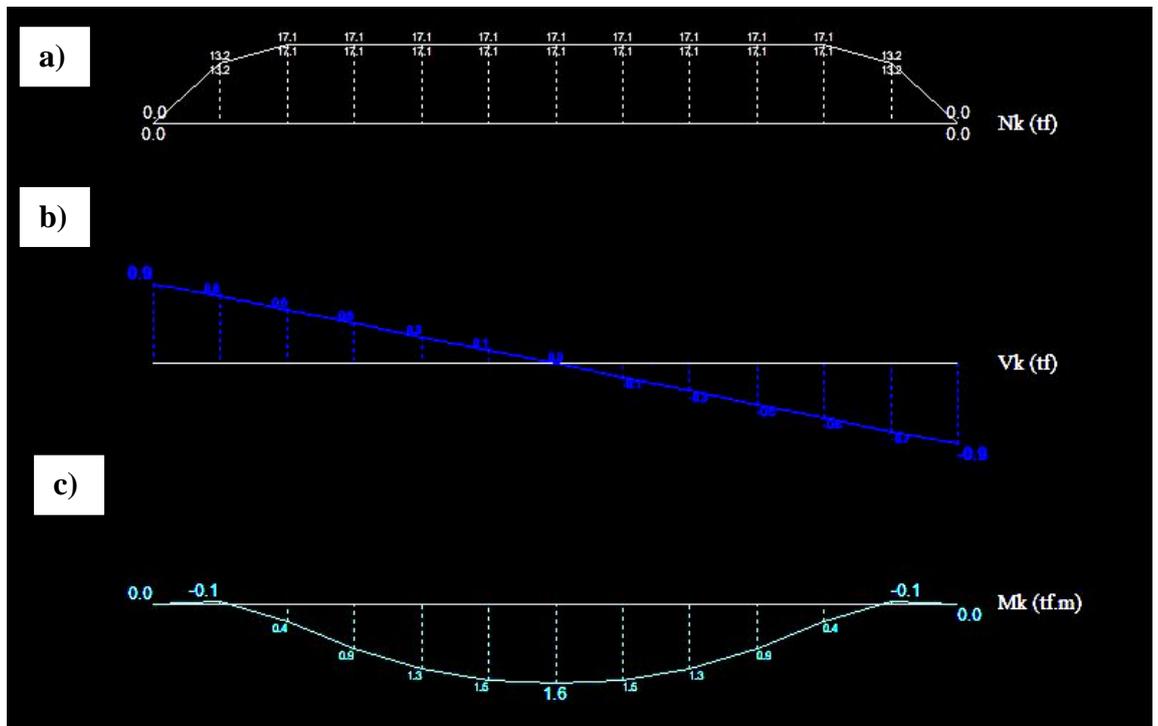
**Figura 29 - Esforços peso próprio + protensão + içamento**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

A última plotagem mostrada na figura 30 apresenta os diagramas de esforços gerados através da aplicação dos carregamentos: peso próprio protendido e carga do telhado que foi considerado a telha isotérmica TP 100.

**Figura 30 - Esforços finais considerando os carregamentos**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Na figura 30 é apresentado os resultados das flechas em cada ensaio. Na parte 1 e 2 é a flecha resultante da relação do peso próprio da terça com protensão. Na parte 3 e 4 foi considerado a sobrecarga permanente 1 que foi considerado a telha, mais o peso próprio da capa, que desconsideramos. E na parte 5 e 6 que temos sobrecarga permanente 2 e carga variável. Com esses resultados foi possível analisar o comportamento da peça sem travamento por linha de corrente, e assim conseguir visualizar com clareza a diferença do antes e depois do travamento.

**Figura 31- Resultado das flechas**

Geometria   Protensão   Esforços   Tensões   As passiva   Fissuras   Cisalhamento   Apoios / Dentes   Flechas						
	①	②	③	④	⑤	⑥
	Protensão	Peso-próprio da seção pré-moldada	Sobrecarga permanente 1	Peso-próprio da capa	Sobrecarga permanente 2	Sobrecarga variável
Carregamento	M = -1.35 tf.m	p = 0.063 tf/m	p = 0.01488 tf/m	p = 0.000 tf/m	p = 0 tf/m	p = 0.075 tf/m
Modelo	Biapoiado			Biapoiado		
Rigidez	$\alpha$ 1.0 Ecs fck,saque seção da viga	Ic	$\alpha$ 1.0 Ecs fck,pré seção da viga	Ic	$\alpha$ 1.0 Ecs fck,pré seção composta	Ic
Fases	Pista ① + ②		Fluência1 = 0.0		Fluência2 = 2.5	
	Montagem		① + ② + ③ + ④		Perdas de protensão = 20 %	
	Uso final		① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥		Fluência1 $\gamma_{f2} = 1$	
Flechas	-1.33 cm			-0.71 cm		1.50 cm
Limites / Verificações	Limite = L / 350 = 3.43 cm → ✓ OK			Limite = L / 350 = 3.43 cm → ✓ OK		Limite = L / 250 = 4.80 cm → ✓ OK
Força distribuída ao longo de toda peça (tf/m) para simular as cargas variáveis.						
Opacidade: _____ j <input checked="" type="checkbox"/> Atualizar relatório <input checked="" type="checkbox"/> Atualizar desenho <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancelar"/>						

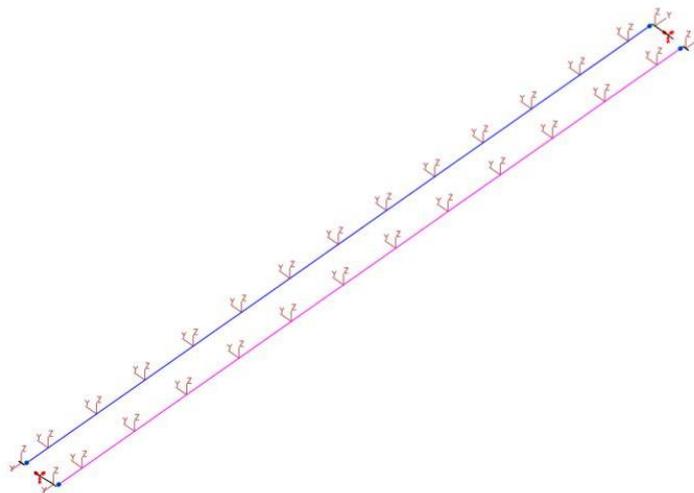
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Nesses resultados para analisar o comportamento da peça sem travamento por linha de corrente, não consideramos a carga e esforços resultantes do vento, uma vez que não haveria uma diferença significativa em nosso estudo.

## 5.2 GRÁFICO DE EIXOS ORIENTATIVOS

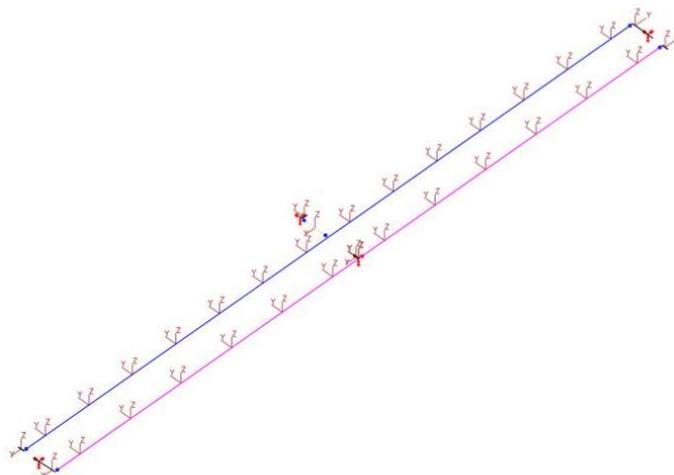
A figura 32, 33 e 34 foram usadas para orientação durante o estudo da terça onde tivemos que gerar um gráfico x, y, z para saber onde seria aplicado as linhas de corrente corretamente. Se fez necessário a criação desses gráficos porque no programa quando se modelava a peça ocorreram erros nos resultados, haja visto que para se obter os resultados esperados precisaria de exatidão na pontuação das linhas.

**Figura 32 - Eixo local sem linha de corrente**



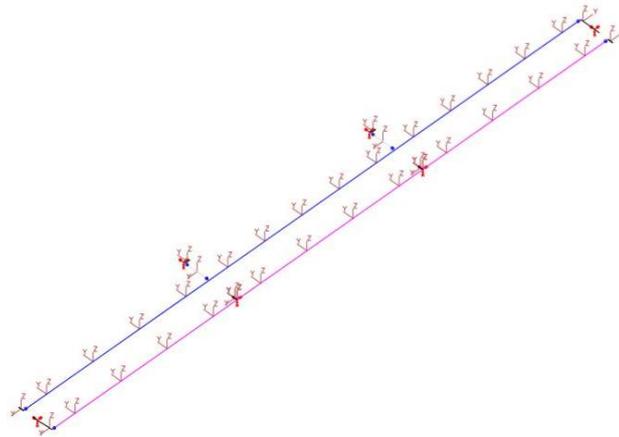
Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2019

**Figura 33 - Eixo local 01 linha de corrente**



Fonte: PRÓPRIO AUTORES, 2019

**Figura 34 - Eixo local 02 linhas de corrente**

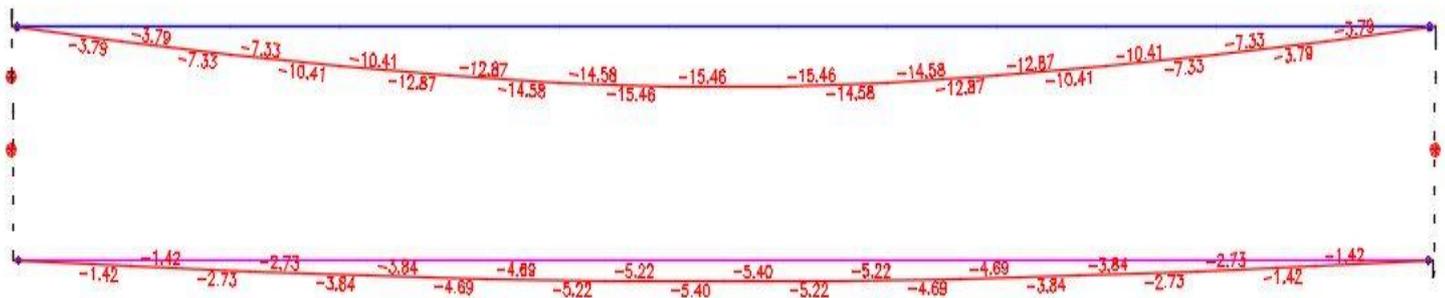


Fonte: PRÓPRIO AUTORES, 2019

### 5.3 FLECHAS

Os diagramas a seguir mostram a flecha processada em duas vistas, linha azul é a vista superior com a flambagem acontecendo no eixo Z e a linha ciano representando a flambagem no eixo Y. A Figura 35 apresenta os diagramas de flecha da terça estudada com os carregamentos de peso próprio e carga do telhado.

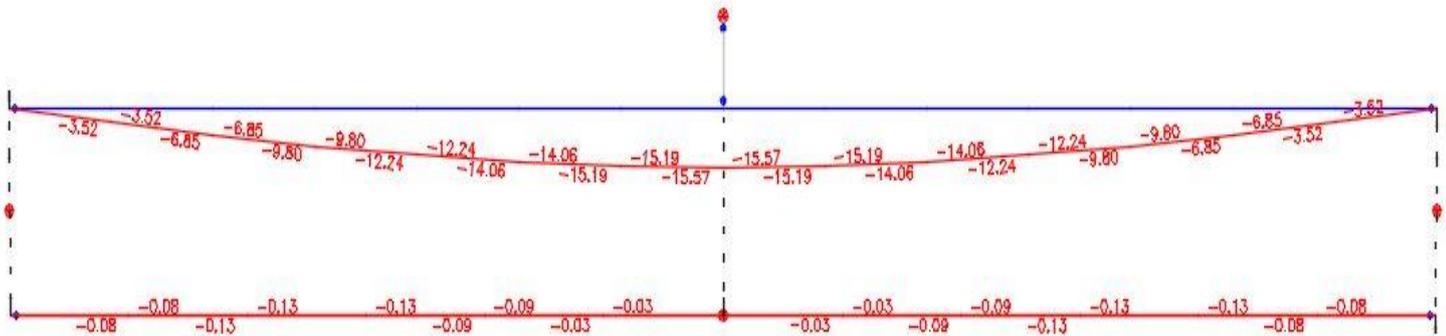
**Figura 35 - Flecha com carregamentos**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Na figura 36 podemos perceber que com 01 linha de corrente o valor da flecha reduziu aproximadamente 97% em relação ao da figura 35, mas não havia zerado como pretendíamos.

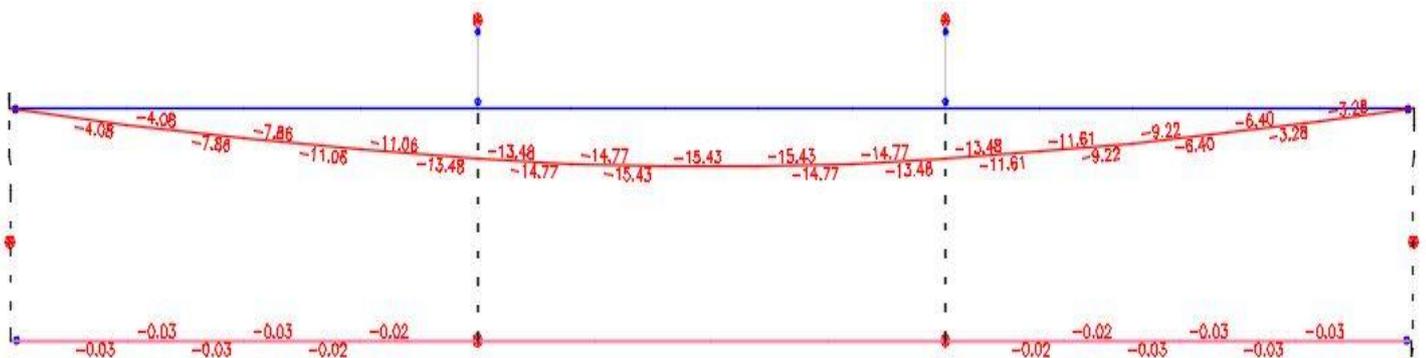
**Figura 36 - Flecha com 01 linha de corrente**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Como podemos ver no diagrama da figura 37 com 02 linhas de corrente agora, a flecha foi zerada no centro onde se encontra o maior esforço e nas suas extremidades a redução foi de aproximadamente 99,5 % em relação a terça sem linha de corrente.

**Figura 37 - Flecha com 02 linha de corrente**

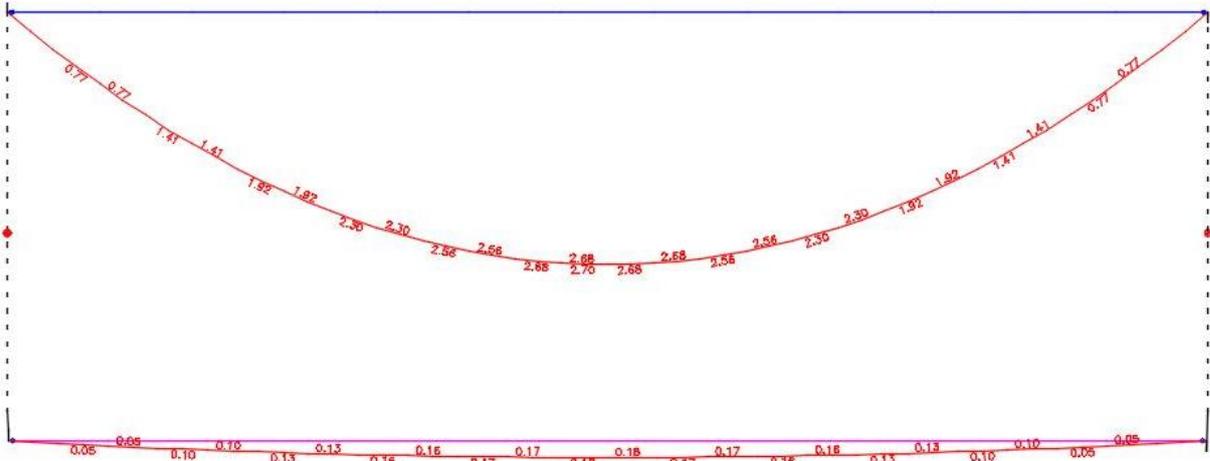


Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

#### 5.4 MOMENTOS

Os diagramas a seguir mostram os momentos processados em duas vistas, linha azul é a vista superior com o diagrama acontecendo no eixo Z e a linha magenta representando o diagrama no eixo Y. A Figura 38 apresenta os diagramas de momento fletor da terça estudada com os carregamentos de peso próprio e carga do telhado.

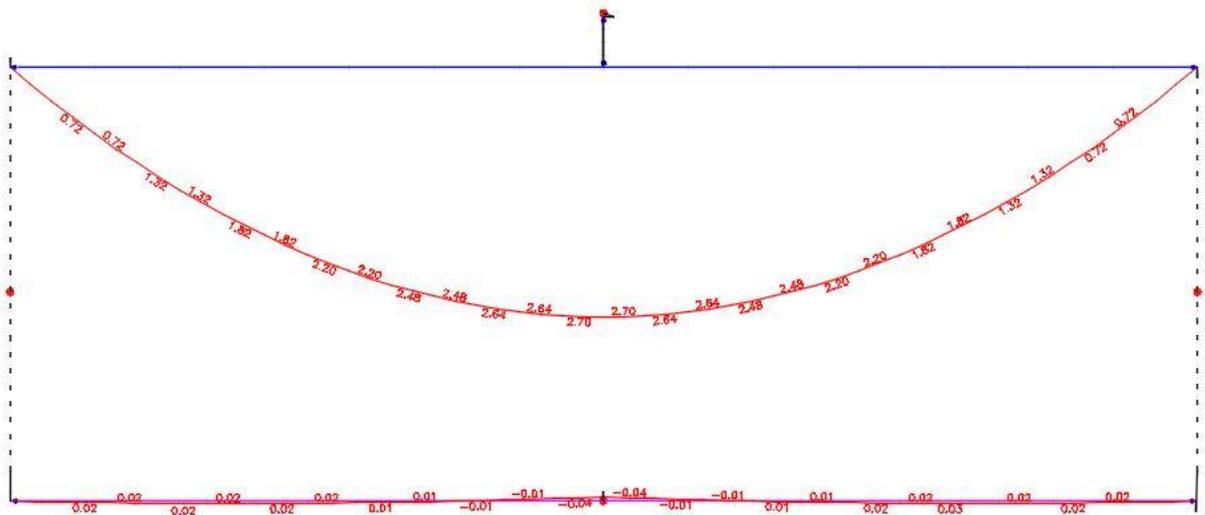
**Figura 38 - Momento com carregamento**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Na figura 39 podemos perceber que com 01 linha de corrente o valor do momento reduziu muito em relação ao da figura 36, mas não havia zerado como pretendíamos.

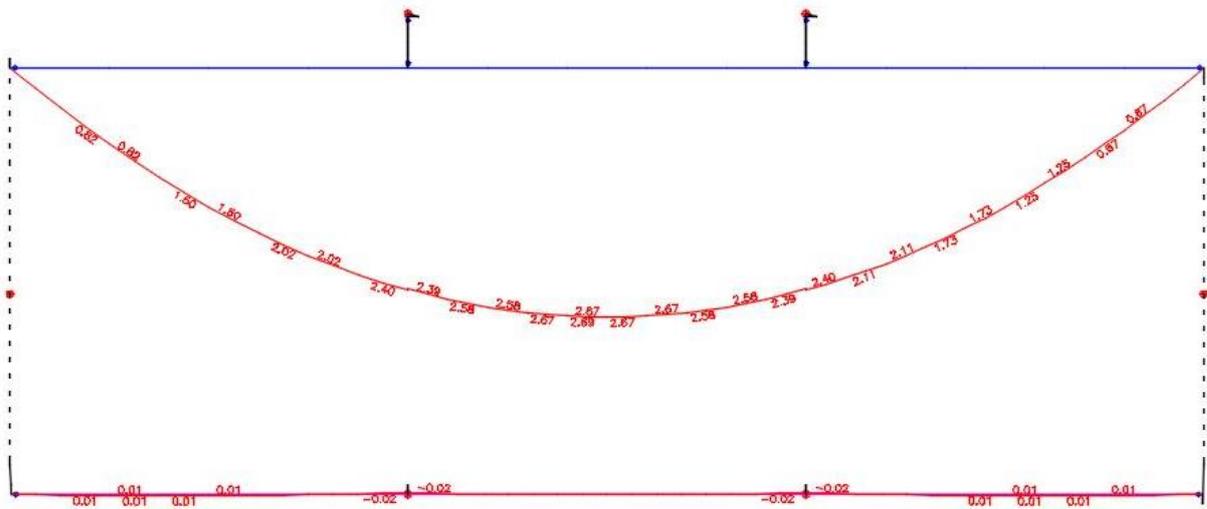
**Figura 39 - Momento com 01 linha de corrente**



Fonte: PRÓPRIO AUTORES, 2019

Como podemos ver no diagrama da figura 40 com 02 linhas de corrente agora, o momento foi zerado no centro onde se encontra o maior esforço.

Figura 40 - Momento com 02 linhas de corrente



Fonte: PRÓPRIO AUTORES, 2019

## 5.5 FLECHA LIMITE NORMA

A norma especifica na tabela 13.3 da NBR 6118 (item 13.3) consta que a flecha limite com aceitabilidade sensorial visual, para deslocamentos visíveis em elementos estruturais é  $l/250$ , logo a flecha limite da terça de 12,5 m seria:

$1,250/250 = 5$  cm, superando a flecha apresentada sem linha de corrente de 5,40 cm

A tabela 2 abaixo apresenta os resultados que obtivemos através do ensaio no software TQS da terça escolhida, chegando a uma redução da flecha da peça em 99,5%, zerada no ponto máximo e nas suas extremidades com deslocamento de - 0,03 cm.

Tabela 2 - Resultado Flechas e Momentos

	Resultados do ensaio terça pré-moldado CAD/TQS				
	Flecha (cm)		Travamento	Momento (cm)	
	Superior terça	Lateral terça	Eficiência (%)	Superior terça	Lateral terça
Flecha sem LDC	-15,46	-5,40	0	2,70	0,18
Flecha com 1 LDC	-15,57	-0,13	97%	2,70	-0,04
Flecha com 2 LDC	-15,43	-0,03	99,5%	2,69	-0,02

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

## 6 CONCLUSÃO

Após a definição da seção da terça realizamos a modelagem no software TQS, onde foi acrescentado as características da terça estudada, dimensões e sobrecargas, e assim foi visualizado cada diagramas e resultante gerado a partir dos processamentos e análises. Devido ao programa ter uma grande variação de opções para processamento utilizamos em nosso estudo somente a de içamento a fim de verificar a reação na nossa peça em suposta movimentação.

Como as terças são pouco estudadas tivemos que lançar no software a peça como viga de seção “T” e assim obter os resultados esperados. No primeiro ensaio da variação lançamos a peça somente com sua carga permanente e carga acidental descrito pela norma 25 kgf/m<sup>2</sup>. O segundo ensaio lançamos a peça já com as sobrecargas e acrescentamos uma linha de corrente no meio da terça e já foi visualizado uma redução bem significativa, mas que não tinha chegado ao nosso objetivo. No terceiro ensaio lançamos a peça com suas sobrecargas acidental e permanente e inserimos duas linhas de corrente, com isso foi zerado a flecha e momento no ponto máximo da peça.

Percebe-se que a terça escolhida, obteve uma redução da flecha da peça em 99,5%, zerada no ponto máximo e nas suas extremidades com deslocamento de - 0,03 cm. Através desse estudo pode-se perceber o quanto reduziria a perda de elementos pré-fabricados ao inserir a linha de corrente, usualmente e mais popular nas construções metálicas, em construções de pré-fabricados e assim se ter uma obra com maior durabilidade e garantia de qualidade visual.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118: **Procedimento, Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.
- \_\_\_\_\_. NBR 6120: **Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro, 1980.
- \_\_\_\_\_. NBR 9062: **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.
- ARAUJO, José Milton. **Curso de Concreto Armado**. 3ª ed – Volume 4 – Rio Grande, 2000.
- BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Estruturas de Concreto II**. EL DEBS, M. K. (2000, 1ed.). Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC/ USP. Disponível: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf> > Acesso em: 31 de maio de 2019.
- BOTELHO, Manoel H. Campos; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te Amo** – 9ª ed. - Volume 1 – BLUCHER, 2018.
- BRANCHIER, Henrique Scalcon. Universidade do Vale do Taquari. < <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1924/1/2017HenriqueBranchier.pdf> > Acesso em: 04 de jun. de 2019
- CABRAL, José Luiz do Carmo; CAVALEIRO, Nilson Luiz Miranda Júnior. Universidade da Amazônia, 2012. < <https://docplayer.com.br/amp/2818244-Universidade-da-amazonia-unama-centro-de-ciencias-exatas-e-tecnologia-ccet-curso-de-engenharia-civil.html> > Acesso em: 02 de jun. de 2019.
- EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 1ed EESC/ USP. São Carlos, 2000.

FRANÇA, Alessandra A. Vieira. **Estudo das lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido submetidas a ensaios de cisalhamento**. Paraná, 2012. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/29037/R%20-%20D%20-%20ALESSANDRA%20APARECIDA%20VIEIRA%20FRANCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 02 de junho de 2019.

HANAL, J.B. **Fundamentos do Concreto Protendido**. São Carlos, 2005. Disponível em : <[www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp\\_ebook\\_2005.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf)>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

HELENE, Paulo. Instituto Brasileiro de Concreto, **IBRACON**, 2010. <[http://www.ibracon.org.br/news/index\\_vida.htm](http://www.ibracon.org.br/news/index_vida.htm)> Acesso em: 02 de jun. de 2019

HEMERLY, A.C; ADÃO, F.X. **Concreto Armado – Novo Milênio Cálculo Prático e econômico**. 2ª ed. INTERCIÊNCIA

KAEFER, Luiz Fernando. **Evolução do Concreto Armado, 1998**. Disponível: <<http://www.lem.ep.usp.br/pef605/Historiadoconcreto.pdf>> Acesso em: 07 de maio de 2019

MELO, C. E. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. 2ª ed - São Paulo: PINI, 2007.

SALAS, S. J. **Construção Industrializada: Pré-fabricação**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1988.

SROCHA CONSULTORIA E PROJETOS LTDA – **ME REDE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO LTDA**, 2019.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil: Pré-fabricação, Monumentos, Fundações**. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2002.