



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**Faculdade de Engenharia Civil**

Trabalho de Conclusão de Curso

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO ESTRUTURAL COM MADEIRA  
PARA COBERTURA DE QUADRA ESPORTIVA**

Aluno: Yhuri Kaminisk Kawahara Vasconcellos

Orientador: Prof. Dr. Jesiel Cunha

Uberlândia, Julho de 2019

## **RESUMO**

Neste presente trabalho serão analisados quatro tipos de estruturas que utilizam madeira como componente estrutural para uma cobertura de quadra esportiva. Serão mostradas informações sobre a madeira como componente estrutural. Em seguida, serão definidos os modelos estruturais a serem estudados, juntamente com as cargas que atuam na estrutura e as suas combinações. A montagem das estruturas, o cálculo estrutural e o dimensionamento final serão feitos utilizando o programa Gestrut. Será feita a análise dos resultados para cada dimensionamento e escolhida a estrutura que apresentar o menor consumo de madeira.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	4
2	O USO DA MADEIRA COMO COMPONENTE ESTRUTURAL.....	4
3	PROGRAMA COMPUTACIONAL GESTRUT.....	7
3.1	FUNCIONALIDADES DO PROGRAMA COMPUTACIONAL.....	7
3.1.1	GENERALIDADES.....	7
3.1.2	COMPONENTES BÁSICOS DA ESTRUTURA.....	8
3.1.3	INTRODUÇÃO DE CARREGAMENTOS.....	10
3.1.4	CÁLCULO ESTRUTURAL.....	10
4	ESTUDO DE CASO.....	12
4.1	DADOS INICIAIS DO PROJETO.....	12
4.2	MODELOS ESTRUTURAIS.....	16
4.2.1	TRELIÇA TRIANGULAR HOWE.....	16
4.2.2	TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS HOWE.....	17
4.2.3	VIGA DE SEÇÃO RETANGULAR E SEÇÃO I.....	18
4.3	AÇÕES.....	19
4.3.1	AÇÕES PERMANENTES.....	19
4.3.2	AÇÕES VARIÁVEIS.....	26
4.4	COMBINAÇÃO DE AÇÕES.....	35
4.4.1	COMBINAÇÃO DE AÇÃO PARA O ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU).....	36
4.4.2	COMBINAÇÃO DE AÇÃO PARA O ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS).....	41
4.5	ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL.....	43
4.5.1	ANÁLISE DOS ESFORÇOS MÁXIMOS NAS BARRAS.....	43
4.5.2	ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS MÁXIMOS NOS NÓS.....	46
4.5.3	DIMENSIONAMENTO.....	47
4.6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75

## **1 INTRODUÇÃO**

O uso da madeira como material para compor estruturas de coberturas vem sendo cada vez mais empregado nas construções que demandam um vão construtivo de maior dimensão, devido aos grandes avanços tecnológicos e estudos na área para a aplicação de seções menores, mais resistentes e com uma eficiência construtiva maior.

Neste trabalho serão comparadas quatro estruturas diferentes para averiguar se são capazes de atender as exigências da obra, sendo duas delas de madeira serrada e as outras duas de Madeira Laminada Colada (MLC).

Os estudos foram baseados nas normas que contemplam o uso da madeira como componente estrutural. Foi utilizado para efetuar os cálculos e dimensionamentos o programa computacional Gestrut.

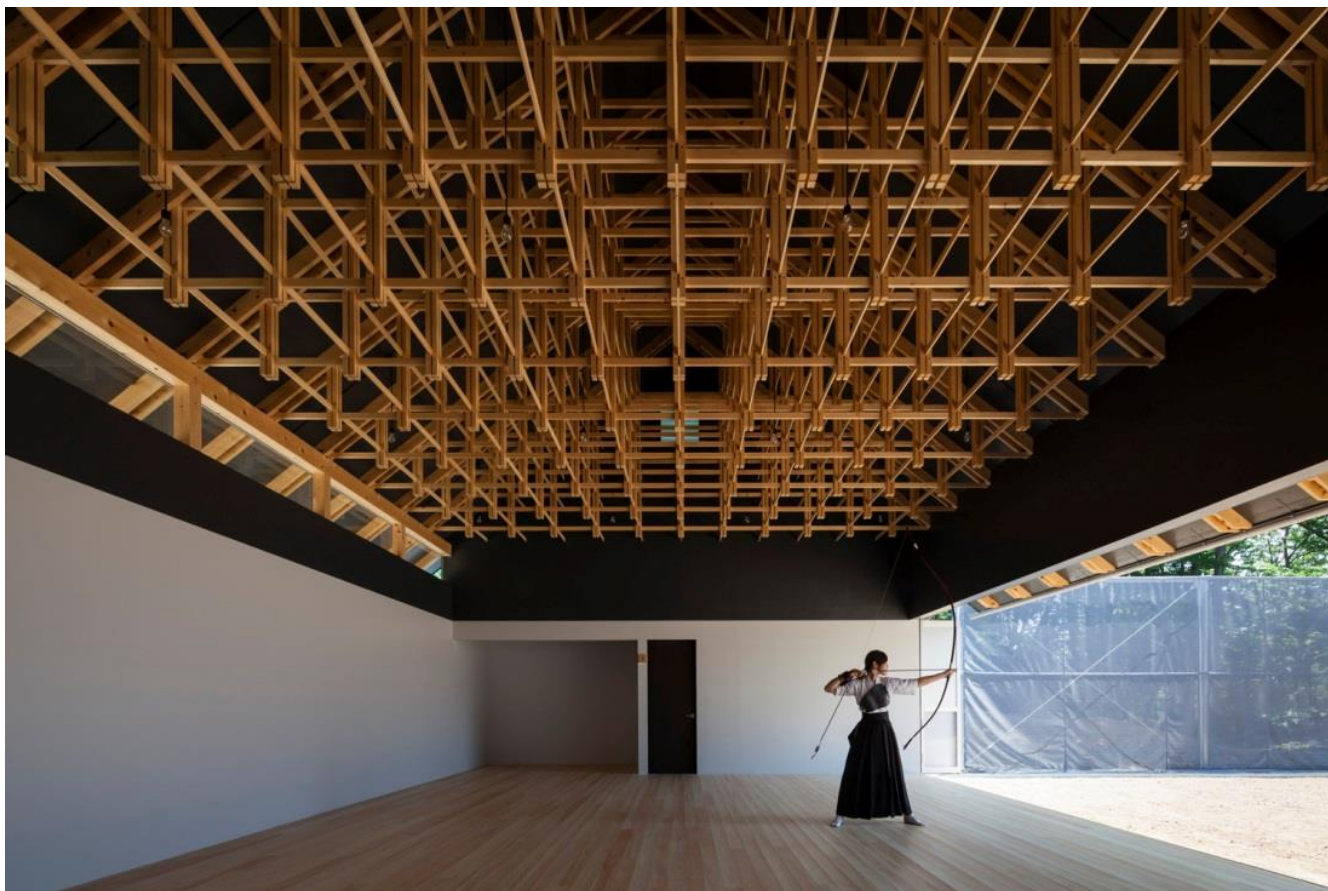
Todas as etapas e resultados serão mostrados neste trabalho para que se possa chegar a uma estrutura que apresente o melhor comportamento perante as condições de projeto, sendo seus resultados comparados entre si.

## **2 O USO DA MADEIRA COMO COMPONENTE ESTRUTURAL**

Segundo Delaqua (2015), a madeira como matéria prima apresenta diversos fatores que podem satisfazer às mais variadas necessidades construtivas, devido às inúmeras espécies que oferecem distintos tamanhos, resistências, formas e cores. Do ponto de vista ecológico, uma das principais características da madeira é que ela pode ser permanentemente renovável.

Além da beleza e do conforto, a estrutura de madeira oferece outras vantagens, como possuir montagem rápida, ser durável e leve, ter peças com precisão e ter preços competitivo a outros materiais nobres, chegando a ser até menor em locais onde não há empresas siderúrgicas (GALERIA DA ARQUITETURA, 2019). A Figura 1 mostra um exemplo do uso estrutural da madeira.

Figura 1 – Estrutura para cobertura de madeira serrada



Fonte: Delaqua (2015)

Inicialmente utilizada para pequenos vãos, passou a ser projetada em forma de treliças, e atualmente, graças ao avanço tecnológico, a madeira passou a apresentar um vasto leque de soluções para vencer grandes vãos, e dentre os vários tipos de uso da madeira na construção civil, a MLC é o que vem apresentando resultados cada vez melhores se comparado a outros materiais, inclusive a própria madeira maciça.

Para AECweb (2019), a MLC é um material concebido a partir da técnica de colagem aliada à laminação, no qual as ‘tábuas’ constituem a madeira. Seu uso em estruturas varia de pequenas passarelas, escadas e abrigos até grandes estruturas concebidas sob as mais variadas formas estéticas. O material permite vencer grandes vãos, de até 200 m sem apoio intermediário, desempenho superior ao da madeira maciça.

Também para AECweb (2019), o uso da MLC no Brasil ainda é considerado baixo em comparação a países do hemisfério norte, que contam com madeira de fácil trabalhabilidade em abundância. As Figuras 2 e 3 mostram duas estruturas de cobertura de MLC.

Figura 2 – Estrutura de treliça de MLC



Fonte: Calil (2019)

Figura 3 – Viga de MLC



Fonte: Calil (2019)



### **3 PROGRAMA COMPUTACIONAL GESTRUT**

O programa computacional Gestrut é um programa desenvolvido pelo Professor Francisco Antônio Romero Gesualdo, docente da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, e segundo o manual, o programa utilizado neste trabalho é resultado de um trabalho iniciado em 1981. Começou como um programa para cálculo de treliças planas, expandiu para pórticos planos e posteriormente para pórticos tridimensionais.

Segundo Gesualdo (2017), o programa é usado para a análise de esforços e deslocamentos em estruturas planas ou tridimensionais. Nele é possível obter o traçado de diagramas de esforços, juntamente com a visualização dos gráficos de deslocamento, mapeamento de esforços e o dimensionamento da estrutura, onde o cálculo de esforços e deslocamentos independe do material que compõe as barras da estrutura, ou seja, para o sistema computacional interessa apenas os valores numéricos relativos às propriedades das barras.

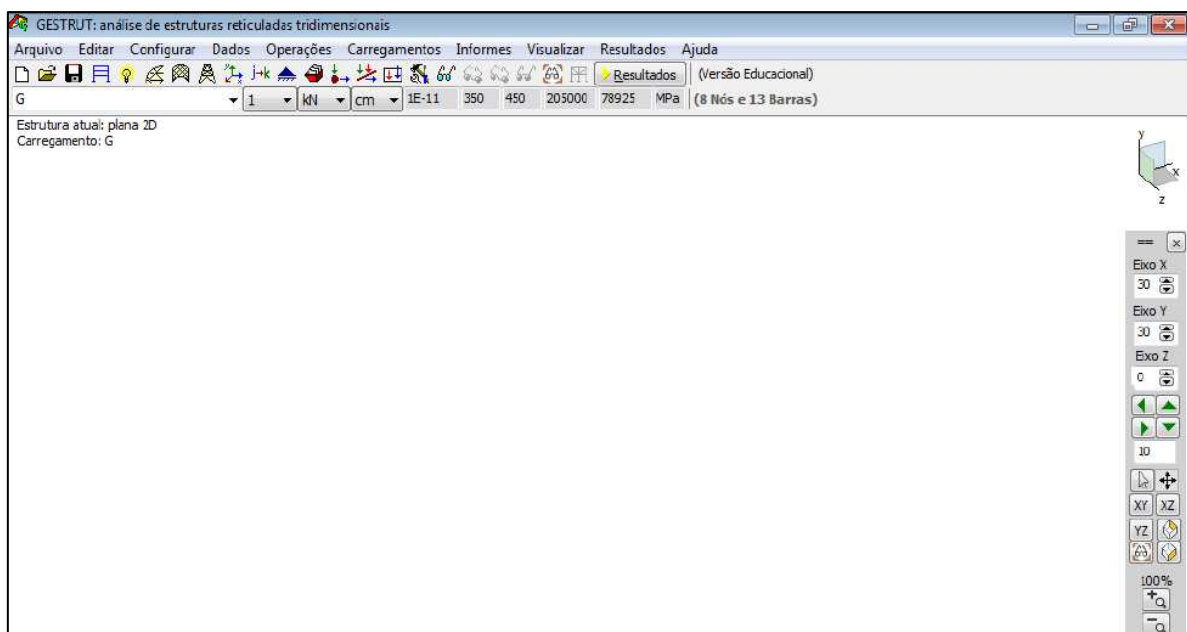
O programa possui ferramentas específicas para o cálculo das estruturas em madeira e aço, seguindo as normas de seus respectivos materiais.

#### **3.1 FUNCIONALIDADES DO PROGRAMA COMPUTACIONAL**

##### **3.1.1 GENERALIDADES**

Segundo Gesualdo (2017), o programa permite abrir primeiramente uma tela principal que será mantida sempre ativa, e telas subsequentes relativas às coordenadas de nós, informações de barras, introdução de apoios e barras, geração de dados e esforços, resultados, etc. Dentro do programa é possível escolher já de início, como será a orientação da estrutura, podendo ser plana ou tridimensional. A tela principal do programa ao ser aberto está representada na Figura 4.

Figura 4 – Tela principal do programa Gestrut.

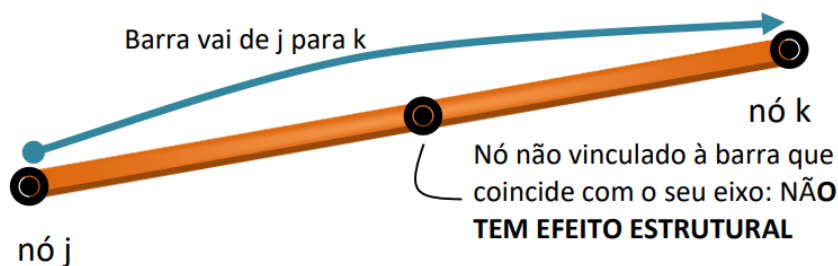


Fonte: Gesualdo (2017)

### 3.1.2 COMPONENTES BÁSICOS DA ESTRUTURA

Segundo Gesualdo (2017), o programa se baseia em estruturas tridimensionais constituídas por barras e nós, onde a primeira informação a ser introduzida é o posicionamento dos nós através do sistema de coordenadas globais x, y e z. Estas coordenadas tem como referência um sistema cartesiano global. A partir destes, são introduzidas as barras que obrigatoriamente interligam dois nós através do nó inicial e o nó final. Caso exista um nó que esteja posicionado ao longo da barra deverão ser informadas as condições de extremidade para aquele trecho, podendo ser articulado (0) ou contínuo (1). A Figura 5 demonstra essa condição.

Figura 5 – Condição para introdução da barra

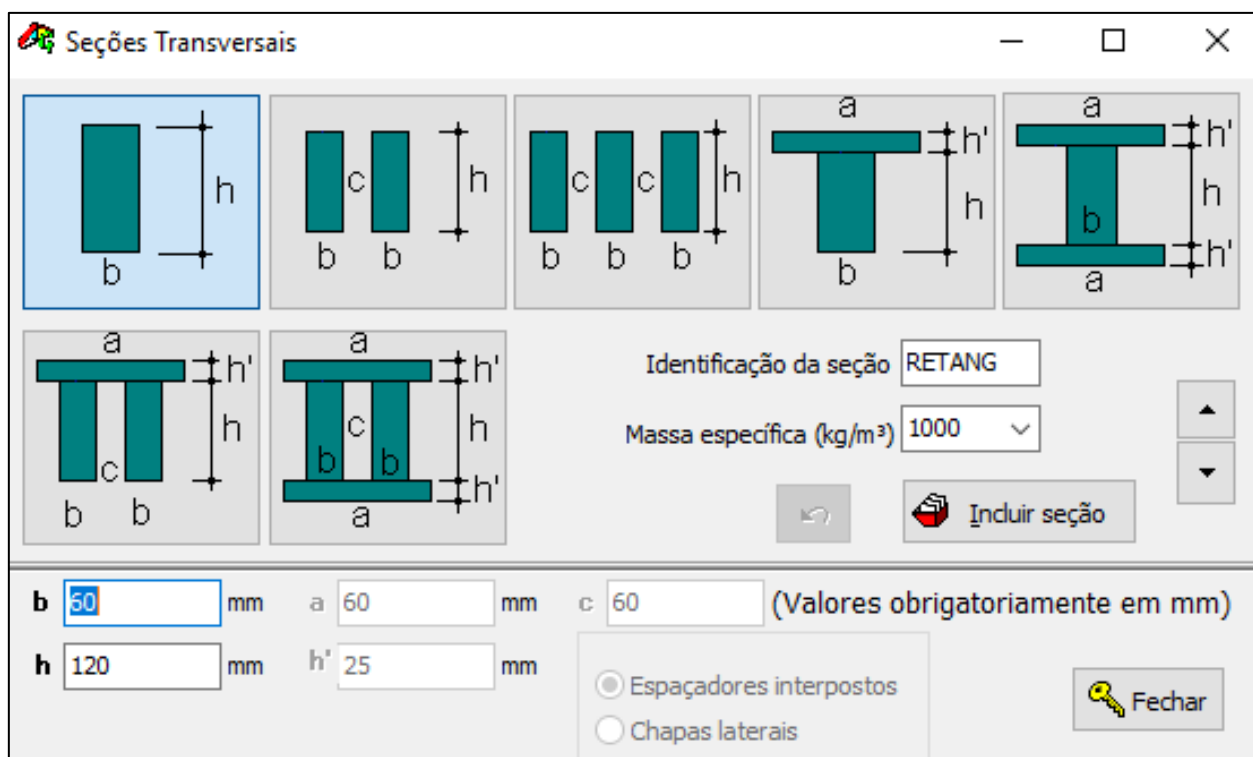


Fonte: Gesualdo (2017)



Para a introdução das barras é preciso antes definir o tipo de seção transversal e material a ser estudado, através de um banco de dados disponibilizado pelo próprio programa. São vários tipos de seções que podem ser escolhidas, com dimensões a partir de critérios específicos. Na tela de escolha da seção é possível escolher o tipo de seção, as dimensões e a massa específica do material a ser utilizado. A Figura 6 mostra tal tela.

Figura 6 – Tela para escolha da seção transversal e material



Fonte: Gesualdo (2017)

Após a escolha da seção que irá compor a estrutura são inseridas então as barras, onde se deve ter atenção ao colocá-las com as condições de extremidades corretas, sendo considerada como articulada ou contínua. Após a introdução das barras, é possível editá-las a qualquer momento de maneira fácil, mudando as seções, a numeração, as condições de extremidade ou sua posição.

Feito isso, são introduzidos os apoios clicando no ícone presente na tela inicial. É necessário especificar os nós que terão os apoios introduzidos.

### 3.1.3 INTRODUÇÃO DE CARREGAMENTOS

Após ser formada a estrutura, é adicionado o carregamento na estrutura. Como explicita Gesualdo (2017), existem diferentes formas de introdução dos carregamentos sobre a estrutura, onde as ações podem atuar diretamente sobre os nós ou sobre as barras. É dito também que as forças sobre as barras podem ser aplicadas na forma de força concentrada ou distribuída (linear ou uniformemente) na direção paralela ou perpendicular ao eixo da barra, juntamente com os momentos concentrados, que poderão ser aplicados ao longo das barras. Poderão existir vários carregamentos diferentes, sendo eles identificados com até três caracteres.

Depois de introduzidos os carregamentos, são feitas as combinações entre eles de acordo com os parâmetros descritos pela ABNT NBR 7190:1997. É possível a qualquer momento escolher as combinações diretamente na tela principal, alterando também a visualização das forças combinadas aplicadas na estrutura.

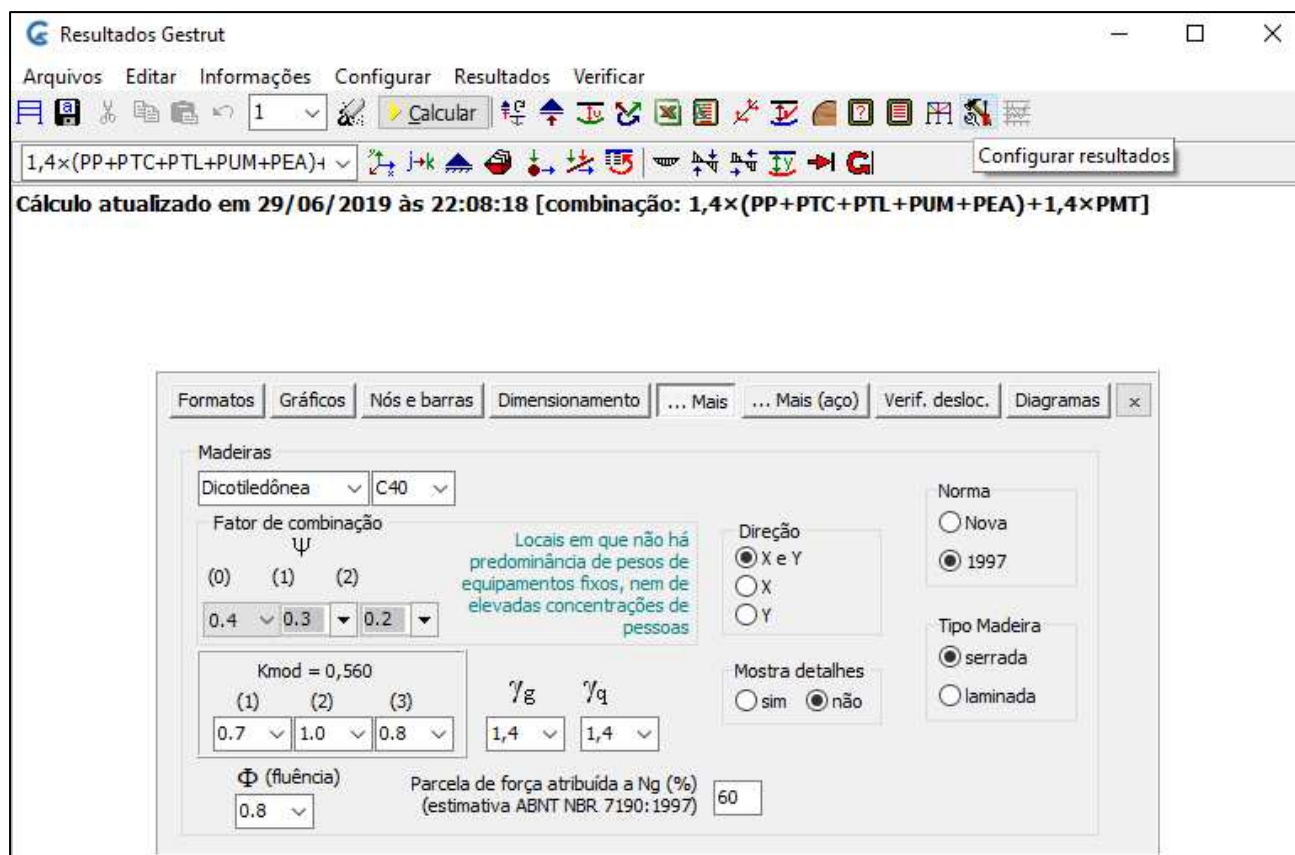
### 3.1.4 CÁLCULO ESTRUTURAL

Depois de introduzidos os dados necessários, é feito o cálculo estrutural para verificar os esforços e dimensionamento das barras. Segundo o manual do programa, os resultados são apresentados em uma tela específica que se acessa ao se clicar no botão “Resultados” na tela principal. E a menos que seja detectado algum problema na estrutura, os resultados para os esforços na estrutura serão apresentados na tela, sendo eles as reações de apoio, deslocamentos, esforços nas barras (mostrados individualmente para cada barra).

É possível também obter o dimensionamento das barras clicando no ícone específico na tela de resultados, onde tais resultados serão gerados de acordo com a ABNT NBR 7190:1997, sendo apresentados na tela cada barra com seus respectivos resultados e observações.

Para o dimensionamento, é importante especificar os coeficientes de modificação e a classe de resistência da madeira, através do ícone da tela de resultados definido como “Configurar resultados”, na aba “...mais” (para estruturas em madeira), como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Janela para dimensionamento da estrutura



Fonte: Gesualdo (2017)

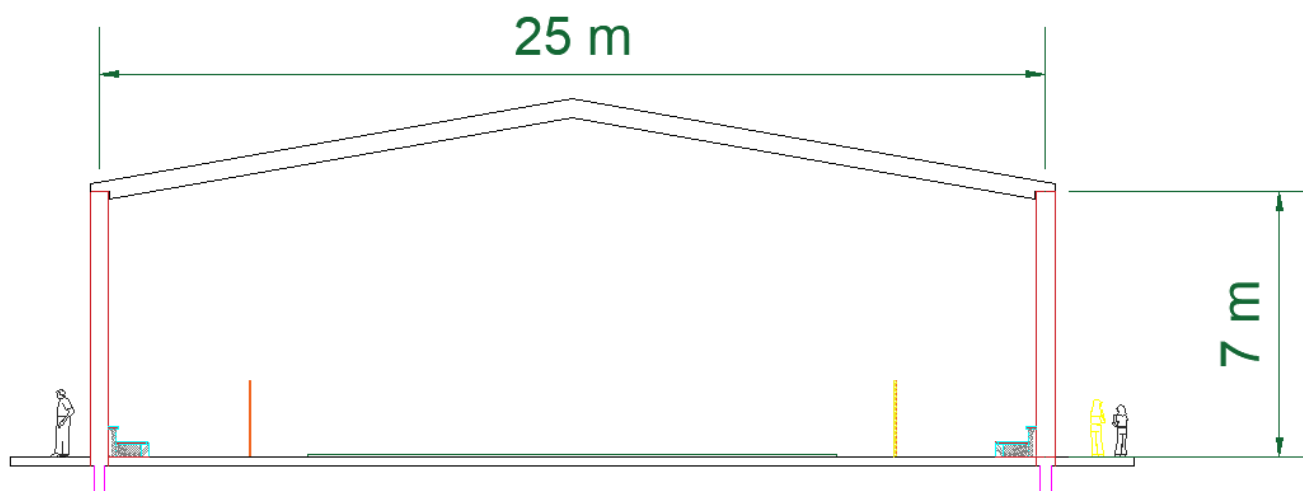
## 4 ESTUDO DE CASO

Serão abordados neste tópico os dados iniciais para definição do posicionamento das terças, os modelos que serão comparados na análise estrutural, definição das ações permanentes e variáveis, as combinações destas ações, a análise e dimensionamento da estrutura proposta e as observações e resultados finais. Para a análise e dimensionamento da estrutura será utilizado o programa Gestrut.

### 4.1 DADOS INICIAIS DO PROJETO

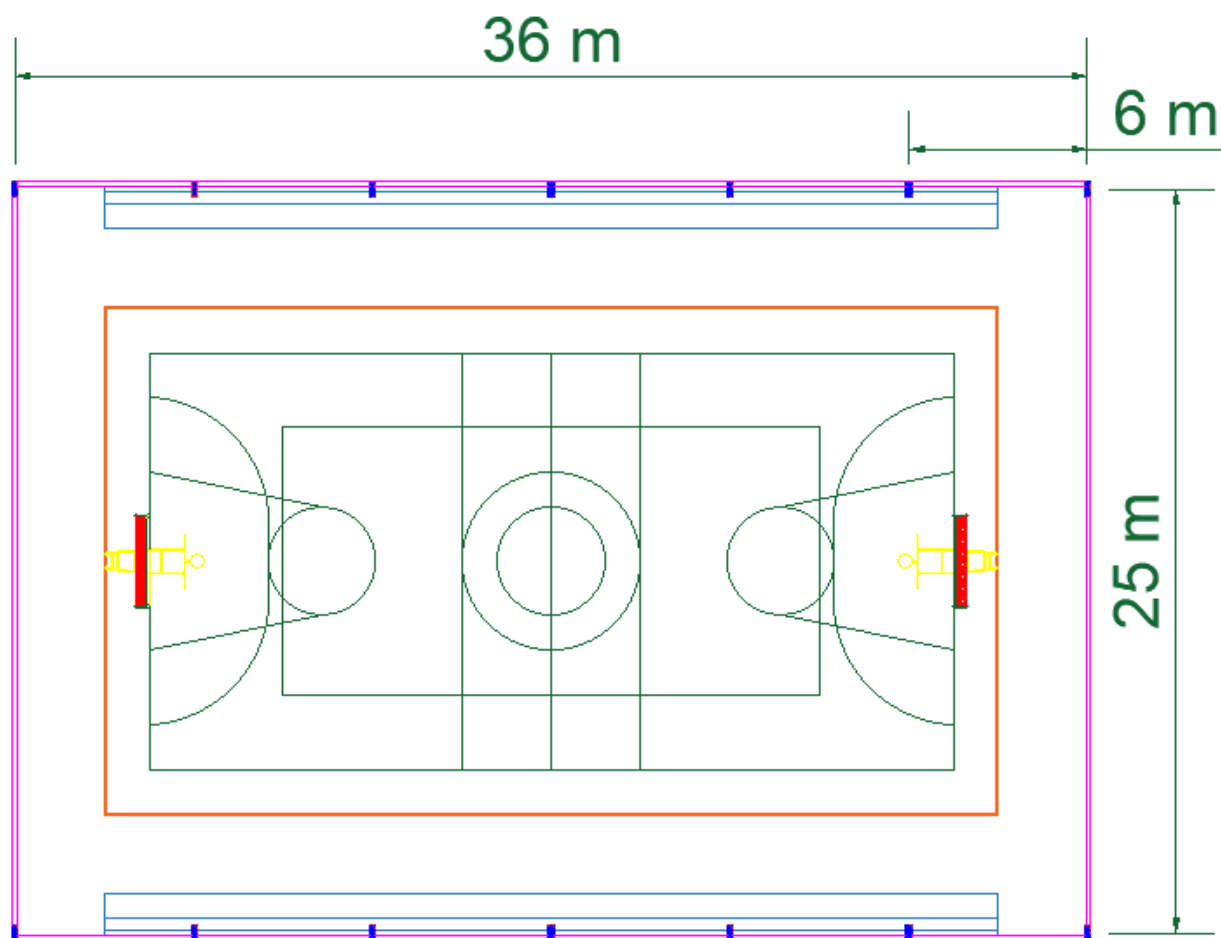
O projeto escolhido para contemplar a quadra poliesportiva se trata de um galpão retangular com 36 m de comprimento com espaçamento entre os pilares de 6 m e 25 m de largura entre os apoios, com 7 m de altura dos pilares. A Figura 8 e a Figura 9 mostram através do projeto arquitetônico a cotação das medidas do galpão a ser projetado.

Figura 8 – Visão transversal da quadra poliesportiva



Fonte: autor

Figura 9 – Visão em planta da quadra poliesportiva



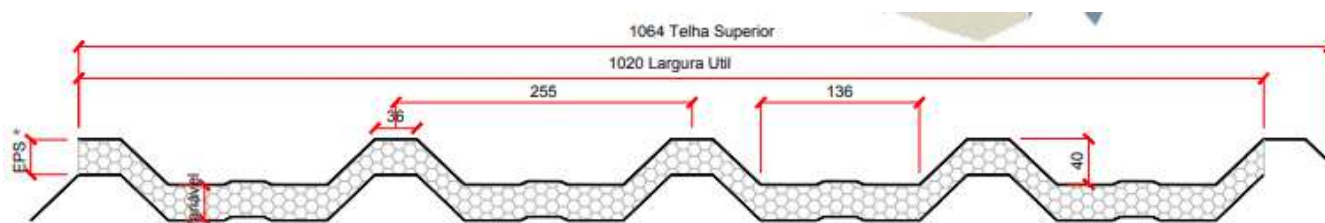
Fonte: autor

Para este trabalho será feito o estudo comparativo somente da estrutura principal da cobertura, não estando incluídos os pilares, terças e contraventamentos. Admite-se também que a estrutura se comporta como um pórtico plano transversal, com repetição da estrutura a cada 6 m. A face da edificação de menor dimensão foi considerada como sendo permeável ao vento devido à utilização de blocos vazados que permitem a ventilação da quadra, e a face de maior dimensão considerada impermeável devido ao seu total fechamento com alvenaria.

Adotaram-se para a estrutura da cobertura duas águas com inclinação de 17,6% ou 10°, onde, para definir as posições dos nós onde serão aplicados os esforços, fez-se necessário definir a posições das terças de acordo com a posição e dimensões do telhado. Para isso, foi definida para a estrutura uma cobertura em telha termoacústica definida como TR-40.

A telha escolhida foi retirada de um catálogo de telhas termoacústicas da Metalforte (2019), onde os dados dos materiais que compõem a telha e as dimensões máximas podem ser observados na Figura 10.

Figura 10 – Tabela de dados e dimensões para telha TR-40



Obs: disponibilidades\* nos EPS de 30 ou 50mm


Espessura Isolante (mm)	Espessura da telha sup. (mm)	Espessura da telha inf. (mm)	Peso Próprio (Kg/m <sup>2</sup> )	Comprimento Máximo (m)	2 ou 3 apoios Vão Máximo (mm)	4 Apoios Vão Máximo (mm)
30	0.43	0.43	7.93	12	2900	3100
		0.50	8.47			
	0.50	0.43	8.47			
		0.50	9.11			
50	0.43	0.43	8.19		3500	3700
		0.50	8.78			
	0.50	0.43	8.78			
		0.50	9.37			

Fonte: Metalforte (2019)

A telha TR-40 possui chapas de aço como revestimento tanto superior quanto inferior, e seu material isolante é composto por Poliestireno Expandido (EPS). Para a estrutura do telhado foi adotada duas telhas TR-40 com comprimentos de 6,6 m e 6,4 m, com espessura isolante de 50 mm e chapas de aço inferior e superior de 0,5 mm, e com isso, o peso próprio da telha adotado foi de 0,0937 kN/m<sup>2</sup>. Para a definição dos apoios entre as terças foi adotado um vão de 2,1 metros. A telha cumeeira também foi adotada segundo o catálogo da Metalforte, tendo um comprimento de 300 mm para cada lado, e para o comprimento do beiral foi adotado 30 cm.

Após a escolha do tipo e dimensões do telhado, foram escolhidas terças metálicas do tipo U enrijecido de acordo com o catálogo de perfis estruturais da Isoeste (2019) representado pela tabela da Figura 11.

Figura 11 – Dados e dimensões para perfil U enrijecido de aço ZAR 345



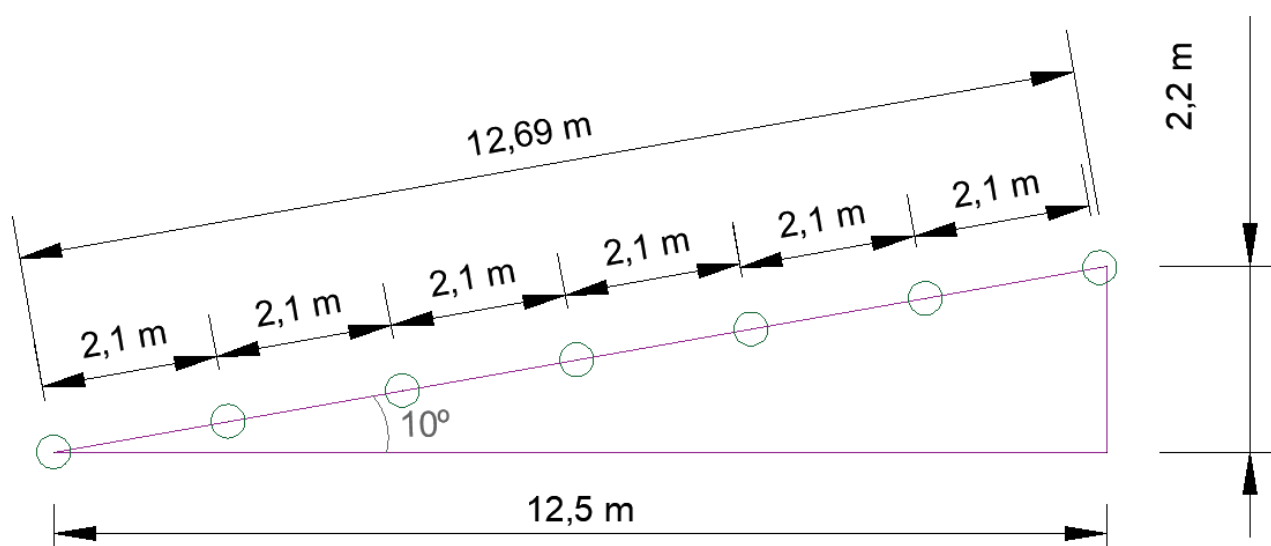
PERFIS	DADOS TÉCNICOS		
	<i>m</i>	<i>A</i>	<i>Espessura</i>
<b>UE</b>	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	<i>r</i> (mm)
<b>bw X bf X D</b> <b>UE250X65X25</b>	4,96	6,20	1,55
	5,44	6,80	1,70
	6,24	7,80	1,95
	7,36	9,20	2,30
	8,65	10,81	2,70

Fonte: Isoeste (2019)

Através desta tabela foi escolhido o perfil U enrijecido com dimensões UE250x65x25 com espessura de 2,7 mm, resultando em um peso próprio de 8,65 kg/m.

Com as características do telhado e das terças escolhidas, foram definidos os posicionamentos dos nós na estrutura a ser estudada, sendo ela demonstrada pela Figura 12.

Figura 12 – Posicionamento dos apoios das terças no componente estrutural



Fonte: autor



## 4.2 MODELOS ESTRUTURAIS

Para a análise deste trabalho, foi considerada no estudo apenas a estrutura responsável por vencer o vão específico do projeto, sendo elas uma Viga de seção retangular, uma Viga de perfil I, uma Treliça triangular Howe e uma Treliça de banzos paralelos Howe. A escolha por utilizar Treliça triangular e Treliça de banzos paralelos Howe ao invés de utilizar estruturas do tipo Pratt se deu por análises comparativas, onde foi visto que estruturas do tipo Howe possui uma taxa de consumo menor comparado com estruturas idênticas do tipo Pratt (CÂNDIDO, 2017).

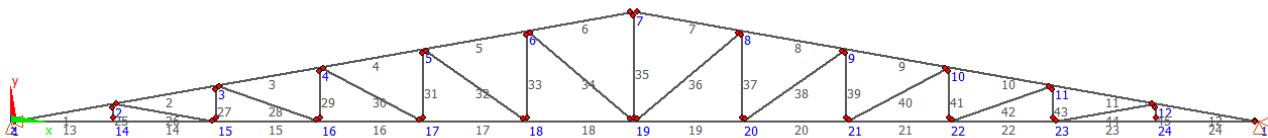
Para todas as estruturas analisadas foram utilizadas madeiras dicotiledôneas de Eucalipto, com classe de resistência C40. Outro fator importante para a análise estrutural foi considerar que para as estruturas da Treliça triangular e a Treliça de banzos paralelos foram utilizadas madeira serrada de dimensões comerciais, e para a viga de seção retangular e a de perfil I foram utilizadas MLC, o que implicou diretamente em sua resistência, devido a mudança no coeficiente  $K_{mod3}$  no cálculo do módulo de elasticidade.

Em todas as quatro estruturas, os apoios da cobertura nos pilares foram considerados como sendo bi apoiados com ambos os apoios fixos, o que influenciou diretamente nos esforços estruturais da madeira, pois analisando os esforços pelo programa Gestrut foi constatado que ao utilizar um apoio fixo e outro móvel, os esforços nos componentes estruturais foram até três vezes maiores. Os esforços absorvidos pelos pilares não foram considerados, pois os pilares não foram incluídos no objeto de estudo deste trabalho, e o seu dimensionamento caberia em outro estudo mais aprofundado. Foram consideradas todas as estruturas analisadas neste trabalho contraventadas.

### 4.2.1 TRELIÇA TRIANGULAR HOWE

O modelo estrutural da Treliça triangular do tipo Howe se caracteriza pela estrutura superior ser inclinada e a estrutura inferior horizontal, com a parte interna ligadas por montantes e diagonais inclinadas para o sentido Howe. Na inserção das barras no programa Gestrut, as barras das partes inclinadas foram consideradas contínuas em cada água do telhado e articuladas na união entre as águas. A barra horizontal foi considerada como contínua, e os montantes e diagonais articulados em ambos os lados. A estrutura lançada no Gestrut pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 – Treliça triangular Howe



Fonte: autor

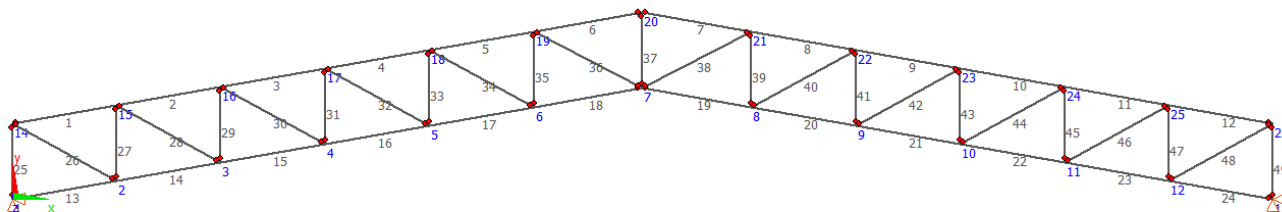
Para esta estrutura, foram adotadas inicialmente em todas as barras seções simples para o pré-dimensionamento. Para as seções finais foram adotadas seções compostas com espaçadores interpostos no banzo superior e inferior, com os montantes e diagonais em seção simples, exceto as diagonais 32, 34, 36 e 38 que são de seção composta com espaçadores interpostos. As uniões entre as barras foram feitas através de conexões metálicas.

#### 4.2.2 TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS HOWE

O modelo apresentado aqui se caracteriza por possuir os banzos superior e inferior paralelos entre si, os montantes na posição vertical e as diagonais inclinadas segundo a orientação para o tipo Howe. A altura relativa entre o banzo inferior e o banzo superior foi adotada como sendo 6% do comprimento do vão a ser vencido, sendo este valor o que geralmente é usado para o pré-dimensionamento de treliças (CÂNDIDO, 2017).

Na estrutura lançada no Gestrut, as barras do banzo superior e inferior lançadas no programa foram consideradas como sendo contínuas na sua extensão e com a ligação entre as duas águas como sendo articulada, e as barras dos montantes e diagonais também como sendo articuladas. A estrutura lançada no programa Gestrut pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 – Treliza de banzos paralelos Howe



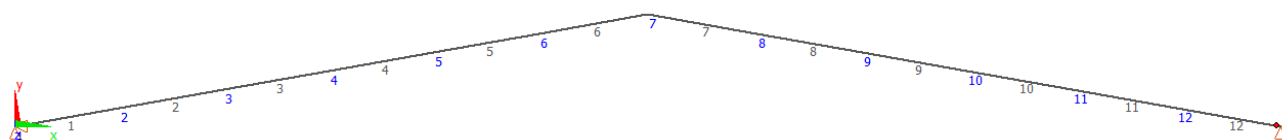
Fonte: autor

Para o banzo superior e inferior, foram adotadas no pré-dimensionamento seções simples, e posteriormente nas seções finais, seções compostas com espaçadores interpostos. Para os montantes e diagonais foram adotadas seções simples. Foram consideradas também conexões metálicas entre os banzos, diagonais e montantes.

#### 4.2.3 VIGA DE SEÇÃO RETANGULAR E SEÇÃO I

Para o pré-dimensionamento e para a seção final, as vigas de MLC analisadas neste trabalho foram consideradas como tendo seções simples retangulares para a viga de seção retangular, e seção simples para viga de seção I, sendo elas lançadas no programa Gestrut com as ligações entre as barras sendo consideradas como contínuas. Outra característica é que as estruturas não possuem ligações metálicas no seu corpo estrutural, por se tratar de uma estrutura em Madeira Laminada Colada, onde as ligações são feitas através do método *Finger-Joint* utilizando cola de alta resistência. Ambas as estruturas são representadas pela Figura 15.

Figura 15 – Viga contínua e Perfil I de MLC



Fonte: autor

### **4.3 AÇÕES**

Neste tópico serão abordadas as ações que compõe os esforços nas estruturas, sendo elas as ações permanentes e as ações variáveis.

#### **4.3.1 AÇÕES PERMANENTES**

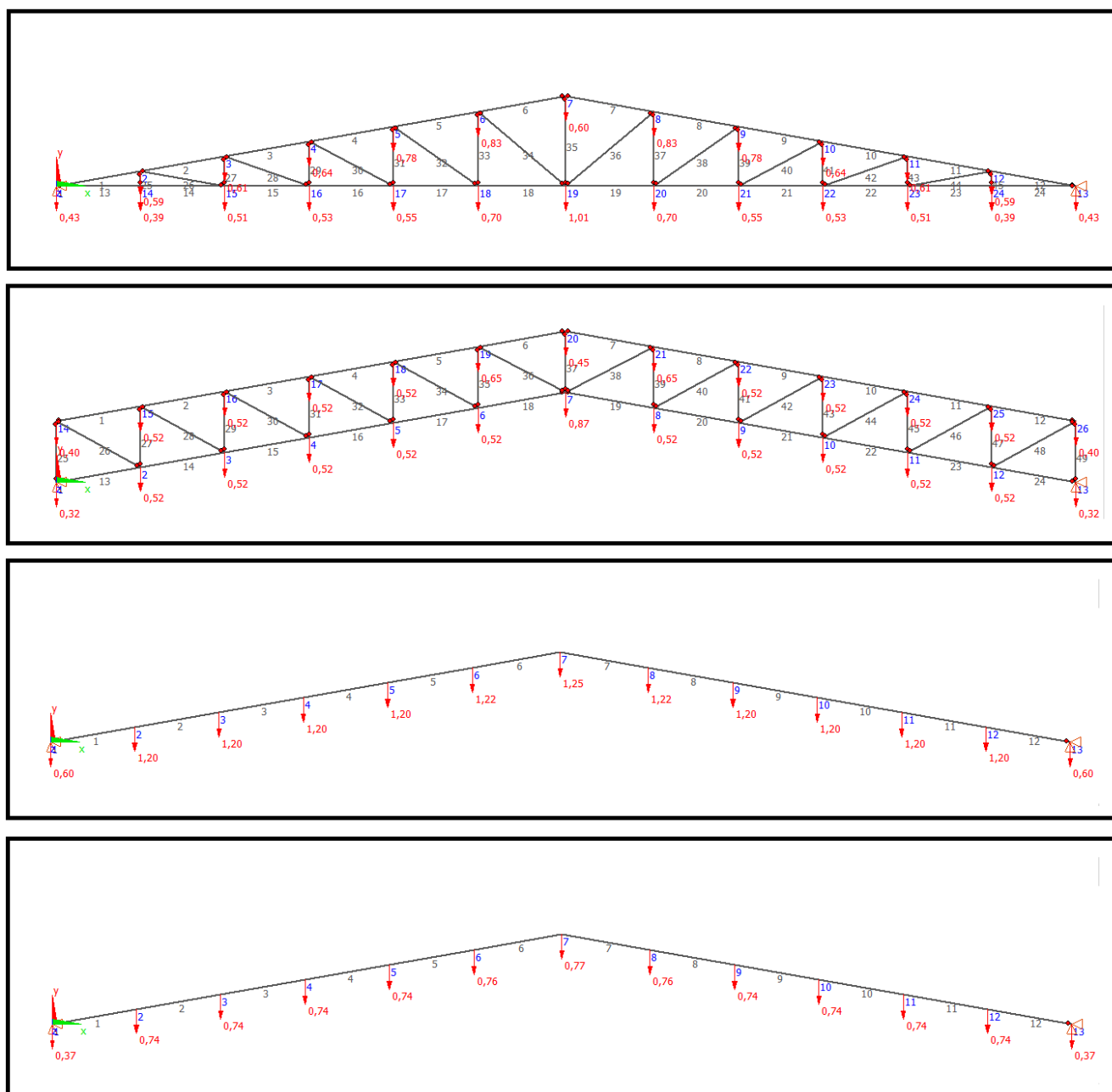
Segunda a ABNT NBR 6120:2017 (projeto de revisão), as ações permanentes são ações que atuam com valores praticamente constantes, ou com pequena variação em torno de sua média, durante a vida da edificação, e tem como exemplos de ações permanentes o peso próprio da estrutura e demais elementos construtivos.

Neste trabalho serão considerados nas ações permanentes o peso próprio, o peso das telhas e terças metálicas, o peso devido a ferragens de contraventamento e ligações metálicas.

##### **4.3.1.1 PESO PRÓPRIO**

O cálculo do peso próprio (PP) das estruturas foi feito diretamente pelo programa Gestrut através da inserção das barras já com as dimensões e a massa específica da madeira utilizada, onde o carregamento é gerado automaticamente. O carregamento de cada estrutura devido ao peso próprio é demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Peso próprio aplicado em cada nó [kN]



Fonte: autor

#### 4.3.1.2 PESO DAS TERÇAS

O carregamento devido ao peso das terças (PTC) foi calculado com base no peso próprio das terças multiplicado pelo comprimento das mesmas, aplicada em cada nó no sentido negativo do eixo Y onde as terças se apoiam, através da Equação 1. Como dito antes, o peso próprio foi

adotado como 0,0865 kN/m, e a faixa de influência calculada de acordo com a distância entre os componentes estruturais, sendo estes iguais a 6 metros.

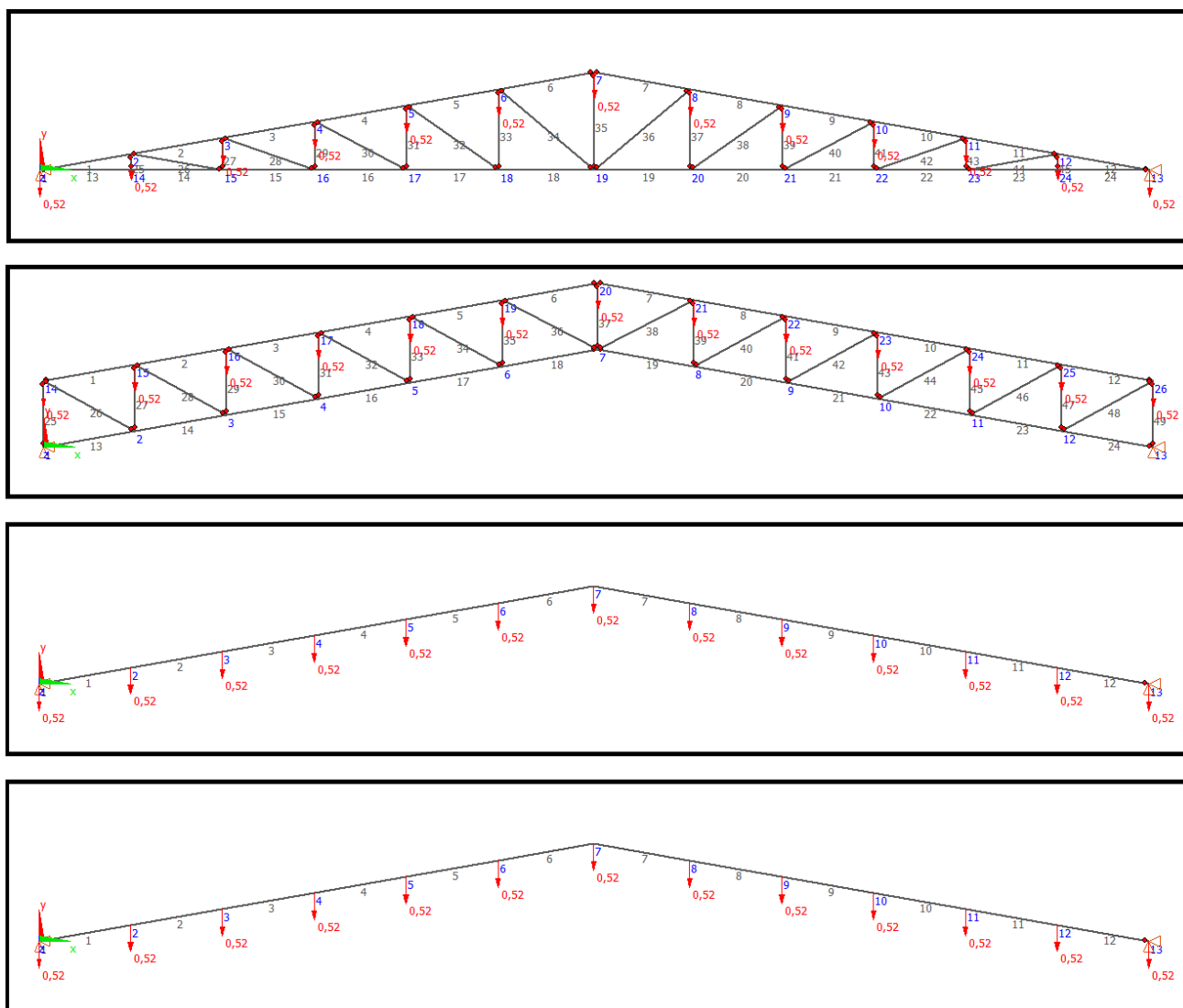
$$PTC = \text{Comprimento das terças} \times \text{Peso das terças} \quad (1)$$

Sendo assim:

$$PTC = 6 \times 0,0865 = 0,519 \text{ kN}$$

As forças introduzidas pelo programa Gestrut nas estruturas podem ser observadas na Figura 17.

Figura 17 – Carregamento das terças [kN]



Fonte: autor.

### 4.3.1.3 PESO DO TELHAMENTO

O carregamento devido ao peso do telhamento (PTL) foi calculado através da Equação 2, onde foi multiplicado o valor da distância entre os componentes estruturais pelo valor das faixas de influência e o valor do peso do telhamento definido em 0,0937 kN/m<sup>2</sup>. As faixas de influência são ditas como sendo a soma do comprimento da barra à esquerda e à direita do nó, dividido pela metade. Foi somado o comprimento do beiral para os nós das extremidades. A Tabela 1 fornece os resultados para o carregamento PTL e a Figura 18 demonstra as estruturas com o referido carregamento dentro do programa Gestrut.

$$PTL = 6 \times \text{Faixa de influência} \times 0,0937 \quad (2)$$

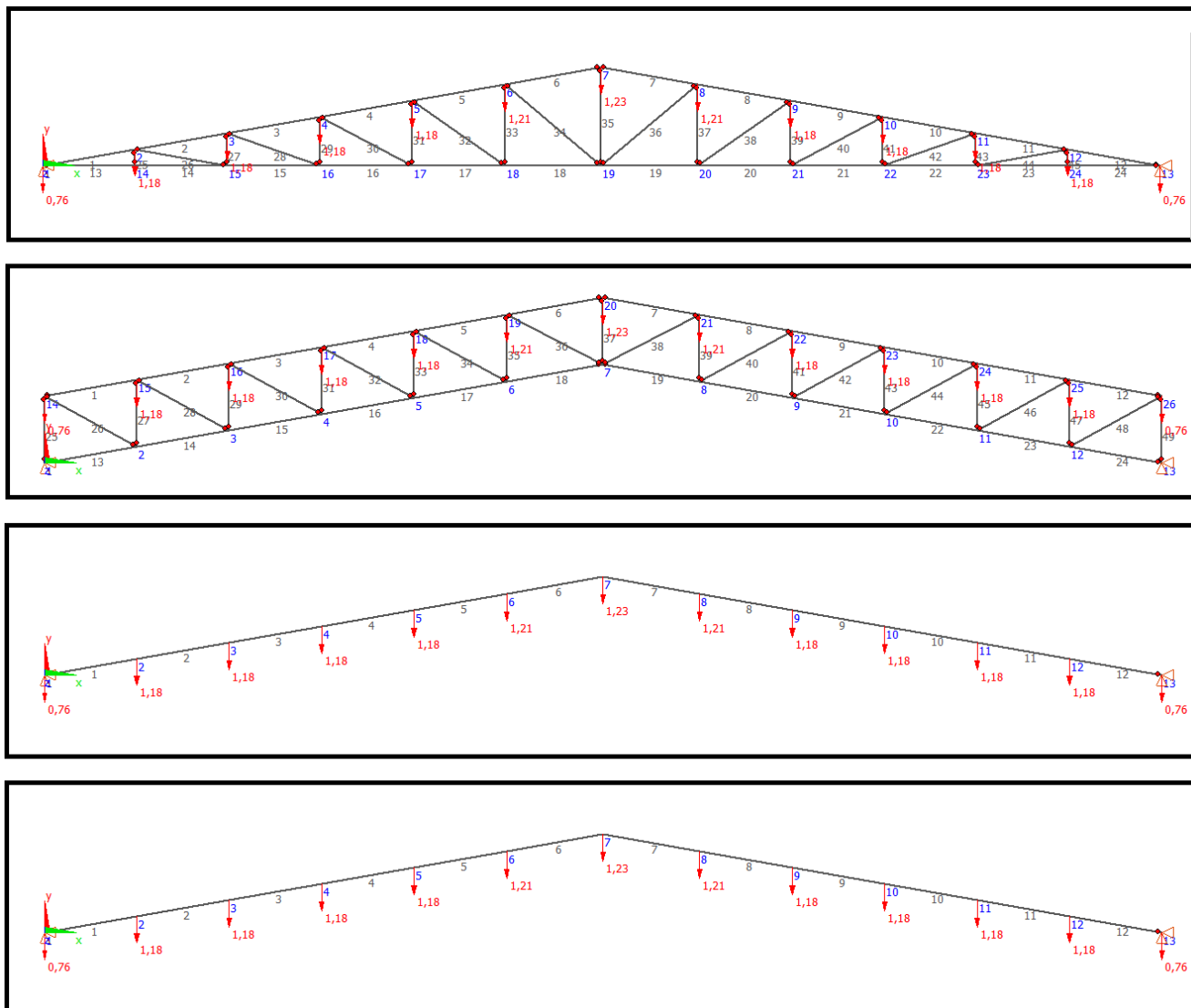
Tabela 1 – Resultados para o carregamento PTL

<b>CÁLCULO DOS ESFORÇOS PARA O CARREGAMENTO PTL</b>				
Nós da Treliça triangular Howe	Nós da treliça de banzos paralelos Howe	Nós da Viga contínua e I de MLC	Comprimento de influência [m]	Carregamento PTL [kN]
1	14	1	1,35	-0,759
2	15	2	2,1	-1,181
3	16	3	2,1	-1,181
4	17	4	2,1	-1,181
5	18	5	2,1	-1,181
6	19	6	2,145	-1,206
7	20	7	2,19	-1,231
8	21	8	2,145	-1,206
9	22	9	2,1	-1,181
10	23	10	2,1	-1,181
11	24	11	2,1	-1,181
12	25	12	2,1	-1,181
13	26	13	1,35	-0,759

Fonte: autor



Figura 18 – Carregamento do telhado [kN]



Fonte: autor.

#### 4.3.1.4 PESO DOS ELEMENTOS ADICIONAIS

O carregamento devido ao peso dos elementos adicionais (PEA) tem seu valor baseado no peso dos contraventamentos e ferragens fixadas na estrutura que compõe as terças e o telhado. Segundo Gesualdo (2003), seu valor foi estimado como sendo  $0,07 \text{ kN/m}^2$  e a área de atuação desta carga igual a área da faixa de influência multiplicado pelo comprimento entre as estruturas, onde a resultante é aplicada nos apoios das terças. O cálculo para se obter a resultante do carregamento PEA pode ser observado pela Equação 3. Os resultados são apresentados na Tabela 2 e a Figura 19 demonstra o carregamento das estruturas dentro do programa Gestrut.

$$PEA = 6 \times \text{Faixa de influencia} \times 0,07$$

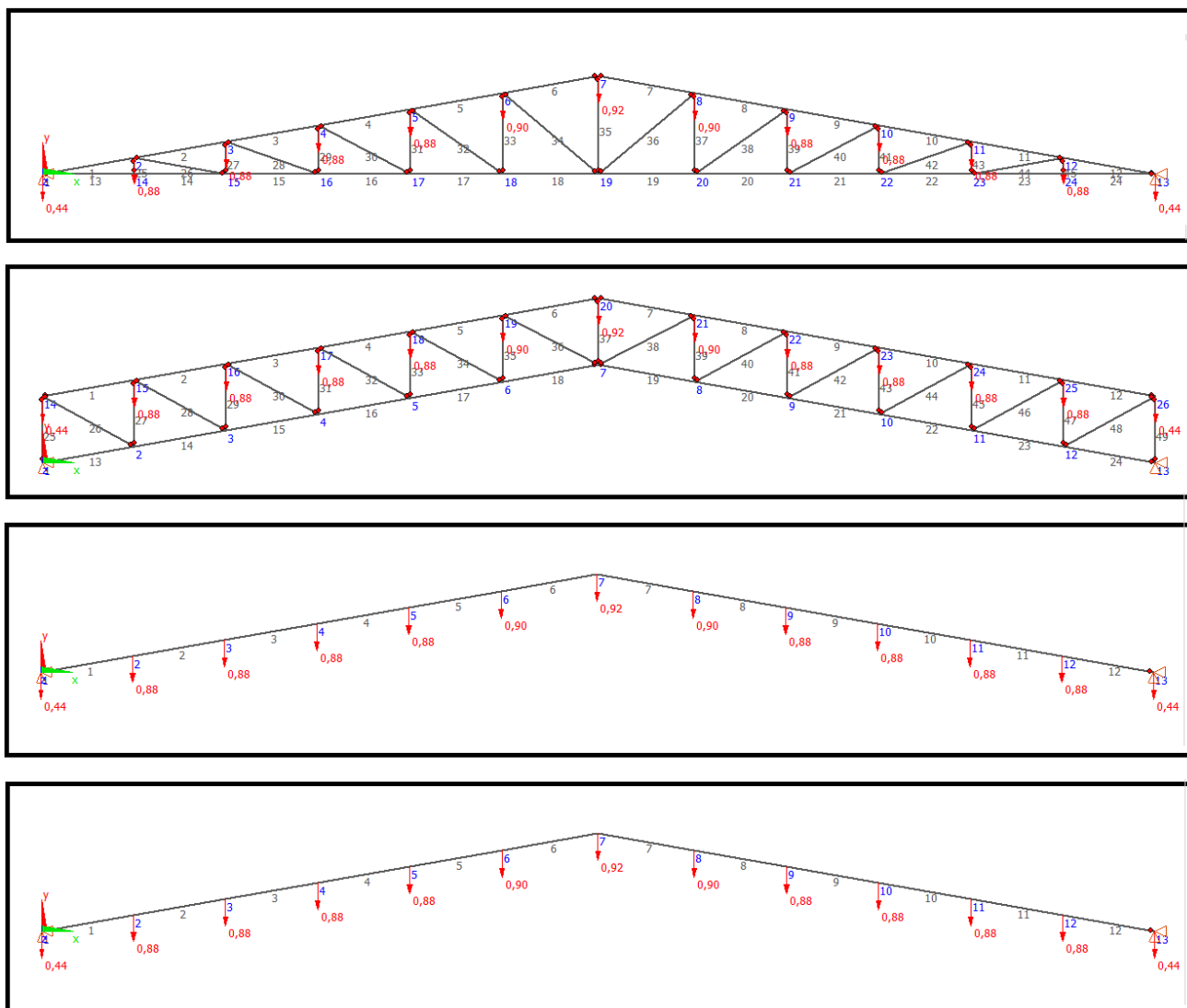
(3)

Tabela 2 – Resultados para o carregamento PEA

<b>CÁLCULO DOS ESFORÇOS PARA O CARREGAMENTO PEA</b>				
Nós da Treliça triangular Howe	Nós da treliça de banzos paralelos Howe	Nós da Viga contínua e I de MLC	comprimento de influência [m]	Carregamento PEA [kN]
1	14	1	1,05	-0,441
2	15	2	2,1	-0,882
3	16	3	2,1	-0,882
4	17	4	2,1	-0,882
5	18	5	2,1	-0,882
6	19	6	2,145	-0,901
7	20	7	2,19	-0,92
8	21	8	2,145	-0,901
9	22	9	2,1	-0,882
10	23	10	2,1	-0,882
11	24	11	2,1	-0,882
12	25	12	2,1	-0,882
13	26	13	1,05	-0,441

Fonte: autor

Figura 19 – Carregamento dos elementos adicionais [kN]



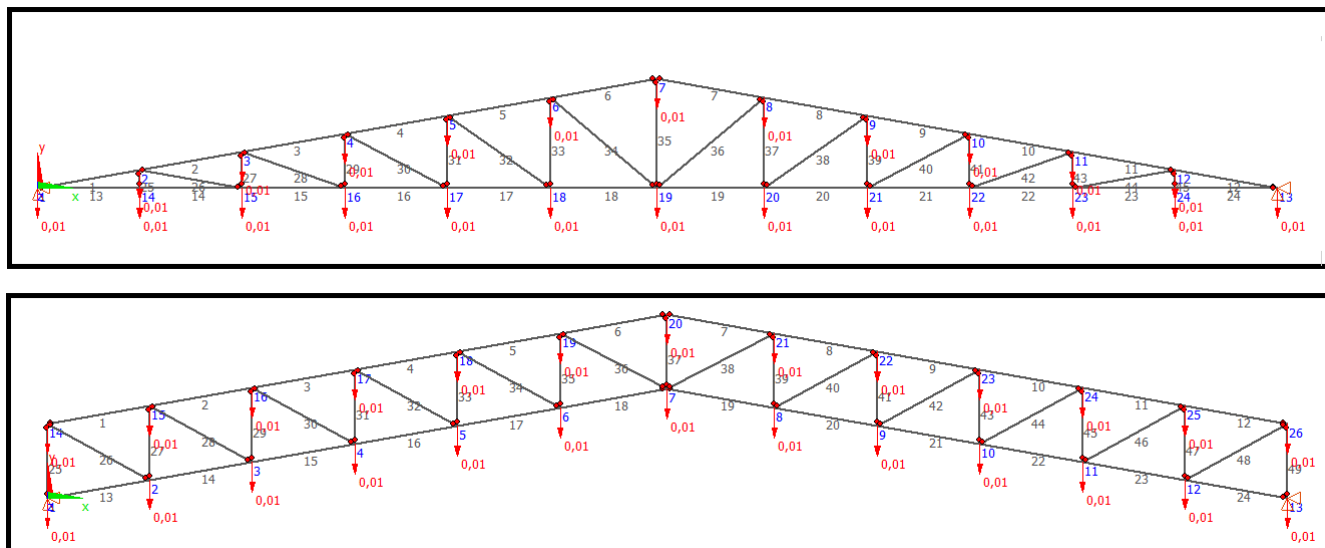
Fonte: autor

#### 4.3.1.5 PESO DAS UNIÕES METÁLICAS

Segundo a ABNT NBR 7190:1997, o carregamento devido ao peso das uniões metálicas (PUM) pode ser estimado em 3% do peso próprio da madeira. Com isso foi estimado as cargas que se aplicam em cada nó da estrutura considerando o seu peso. Para efeito de cálculo, foi feito uma média das forças aplicadas em cada nó devido ao carregamento PP e a porcentagem multiplicada por essa média. O valor da carga calculada foi de 0,012 kN aplicado em cada nó no sentido negativo do eixo Y. No caso das Vigas de MLC, não foi considerada essa carga, pois suas uniões

foram feitas através de outros mecanismos como o *Finger-Joint*. A Figura 20 demonstra o carregamento das estruturas dentro do programa Gestrut.

Figura 20 – Peso das uniões metálicas [kN]



Fonte: autor

### 4.3.2 AÇÕES VARIÁVEIS

Segunda a ABNT NBR 6120:2017 (projeto de revisão), as ações variáveis são ações que atuam com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média durante a vida da edificação. E para o estudo, foram adotadas as ações do vento e as ações devido à manutenção no telhado.

#### 4.3.2.1 CARGA DEVIDO À MANUTENÇÃO NO TELHADO

A ABNT NBR 6120:2017 (projeto de revisão) estabelece que, as coberturas devem ser projetadas para suportar uma carga variável uniformemente distribuída conforme a expressão representada na Equação 4.

$$q = 0,50.\alpha \text{ onde } 0,25kN/m^2 \leq q \leq 0,50kN/m^2$$

$$\alpha = \begin{cases} 1,0 & 1\% < i \leq 2\% \\ 2,0 - 0,5.i & 2\% < i < 3\% \\ 0,5 & i \geq 3\% \end{cases} \quad (4)$$

E segundo a mesma norma, a expressão é válida para coberturas e telhados em geral, acessíveis apenas para manutenção.

Portanto, foi adotado para uma inclinação de 10°, uma força distribuída no valor de 0,25 kN/m<sup>2</sup> sobre o telhado, sendo ela multiplicada pela faixa de influência e a distância entre as estruturas da cobertura através da Equação 5. São apresentados na Tabela 3 os valores resultantes para o carregamento devido à manutenção do telhado (PMT). A Figura 21 demonstra o carregamento inserido nas estruturas dentro do programa Gestrut.

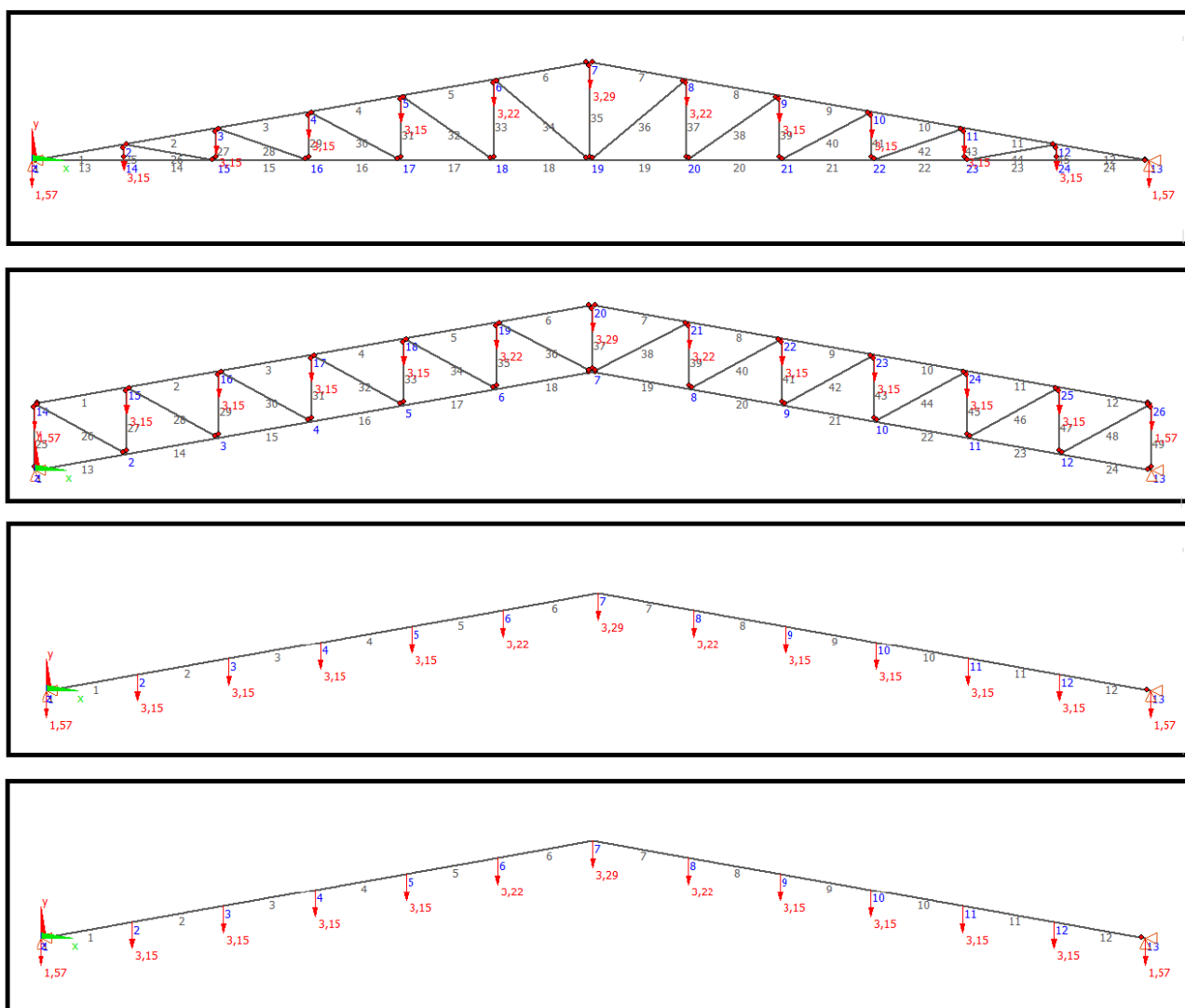
$$PEA = 6 \times \text{Faixa de influencia} \times 0,25 \quad (5)$$

Tabela 3 – Resultados para o carregamento PMT

CÁLCULO DOS ESFORÇOS PARA O CARREGAMENTO PMT				
Nós da Treliça triangular Howe	Nós da treliça de banzos paralelos Howe	Nós da Viga contínua e I de MLC	Comprimento de influência [m]	Carregamento PMT [kN]
1	14	1	1,05	-1,575
2	15	2	2,1	-3,15
3	16	3	2,1	-3,15
4	17	4	2,1	-3,15
5	18	5	2,1	-3,15
6	19	6	2,145	-3,22
7	20	7	2,19	-3,29
8	21	8	2,145	-3,22
9	22	9	2,1	-3,15
10	23	10	2,1	-3,15
11	24	11	2,1	-3,15
12	25	12	2,1	-3,15
13	26	13	1,05	-1,575

Fonte: autor

Figura 21 – Carregamento da manutenção do telhado [kN]



Fonte: autor

#### 4.3.2.2 AÇÃO VARIÁVEL DO VENTO

Para o cálculo dos esforços provocados na estrutura devido à ação do vento, foram feitos os procedimentos segundo a ABNT NBR 6123:1988.

O primeiro passo foi determinar a velocidade característica do vento através da Equação 6.

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (6)$$

Onde:

$V_k$  = velocidade característica do vento;

$V_0$  = velocidade básica do vento;

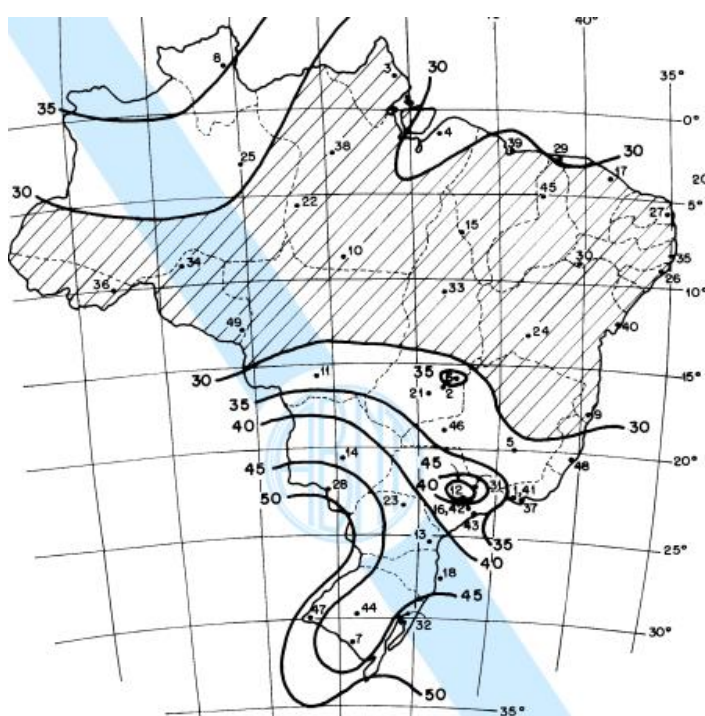
$S_1$  = fator topográfico;

$S_2$  = rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

$S_3$  = fator estatístico.

A velocidade básica do vento para a região escolhida do projeto foi determinada através do mapa de isopletas representado pela Figura 22.

Figura 22 – Mapa de isopletas do Brasil



Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Através deste mapa foi determinada a velocidade básica para a região de Uberlândia, igual a 34 m/s.

O terreno é dito como plano, portanto, o coeficiente do fator topográfico  $S_1$  foi adotado como 1. Para o cálculo do fator  $S_2$  foi admitido que a edificação se enquadra na categoria IV de rugosidade do terreno, e classe B para dimensão da edificação. Considerando que a edificação não possui mais que 10 metros de altura, através da Tabela 4 da ABNT NBR 6123:1988 foi determinado o coeficiente  $S_2 = 0,83$ .



Tabela 4 – Fator  $S_2$ 

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82

Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Foi adotado o fator estatístico  $S_3 = 1$ , por ser uma edificação com alto fator de ocupação.

Portanto:

$$V_k = 34 \times 1 \times 0,83 \times 1 = 28,22 \text{ m/s}$$

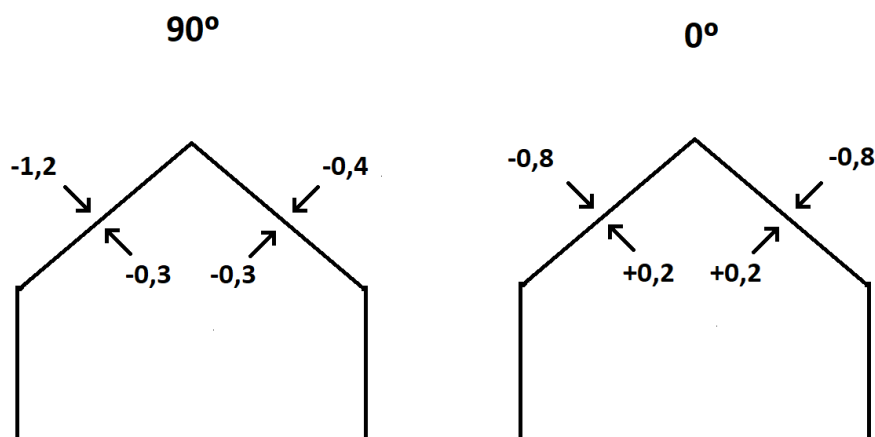
De posse do valor da velocidade característica, foi calculado através da Equação 7 o valor do carregamento gerado pela ação do vento, resultando assim um carregamento no valor de 0,49 kN/m<sup>2</sup>.

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (7)$$

Obtido o valor do carregamento, foi feito o cálculo dos esforços para o vento a 0° e vento a 90° de incidência.

O carregamento para o vento a 90° foi determinado como WA, e o carregamento para o vento a 0° como WB. Os coeficientes de pressão interna e externa estão representados pela Figura 23.

Figura 23 – Coeficiente de pressão para WA (90°) e WB (0°)



Fonte: autor

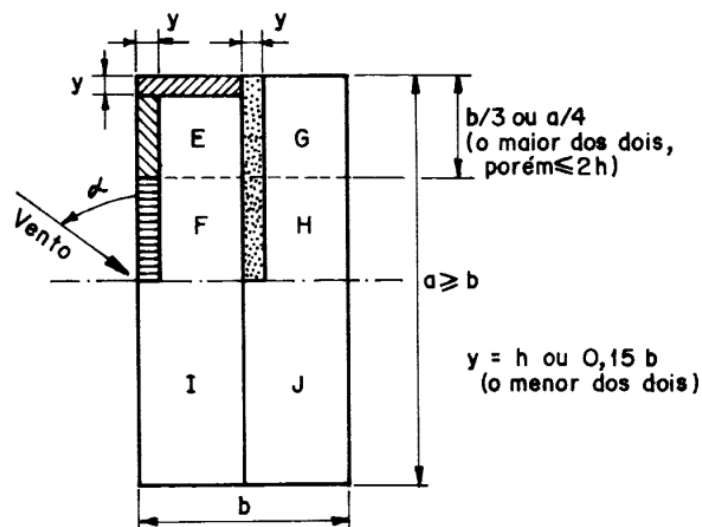
Os valores dos coeficientes de pressão externos foram determinados através da Tabela 5 da ABNT NBR 6123:1988 e da Figura 24, considerando a inclinação do telhado igual a 10°.

Tabela 5 – Coeficiente de pressão e forma externas.

Altura relativa	$\theta$	Valores de $C_e$ para			
		$\alpha = 90^\circ (A)$		$\alpha = 0^\circ$	
		EF	GH	EG	FH
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6

Fonte: ABNT NBR 6123:1988

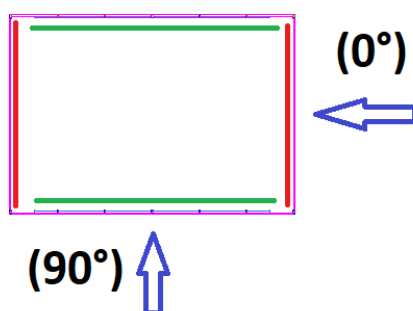
Figura 24 – Determinação do coeficiente de pressão externo



Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Para a determinação do coeficiente de pressão interno foi adotado segundo a ABNT NBR 6123:1988, - 0,3 para o vento a 90° e + 0,2 para vento a 0°, pois se considerou que o vento a 90° está perpendicular a uma face impermeável e o vento a 0°, a uma face permeável, considerando que as faces são opostas e de igual permeabilidade. A Figura 25 demonstra esta configuração.

Figura 25 – Permeabilidade das faces da edificação



Fonte: autor

Utilizando a Equação 8, foram obtidos os valores das forças descarregadas em cada nó onde as terças se apoiam e seus resultados são mostrados na Tabela 6. A Figura 26 e 27 demonstram respectivamente os carregamentos WA e WB inseridos nas estruturas dentro do programa Gestrut.

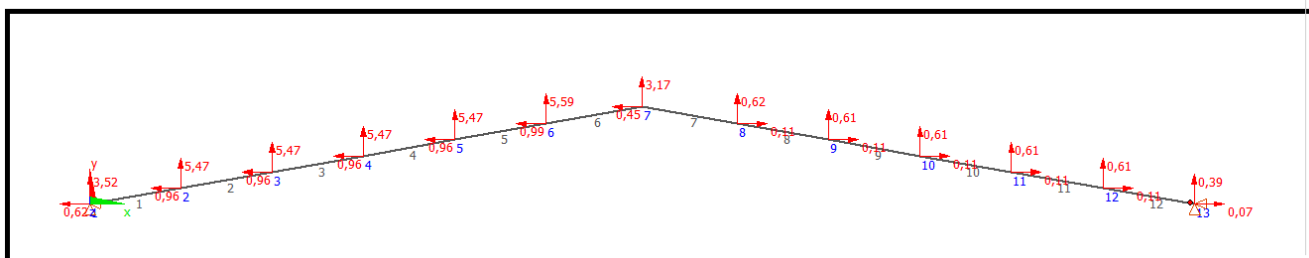
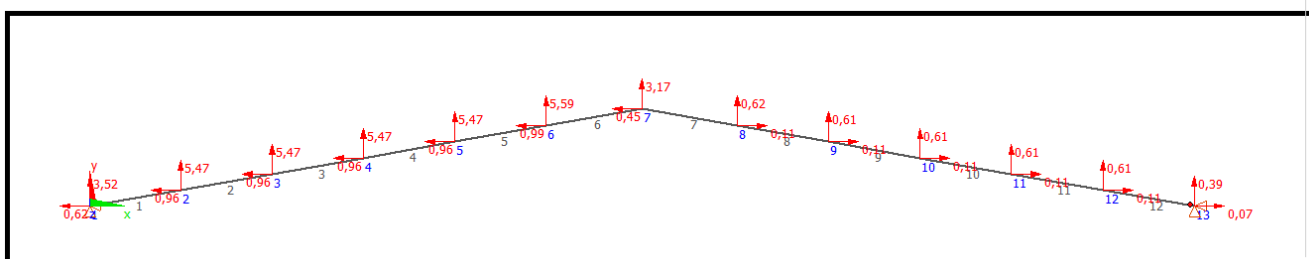
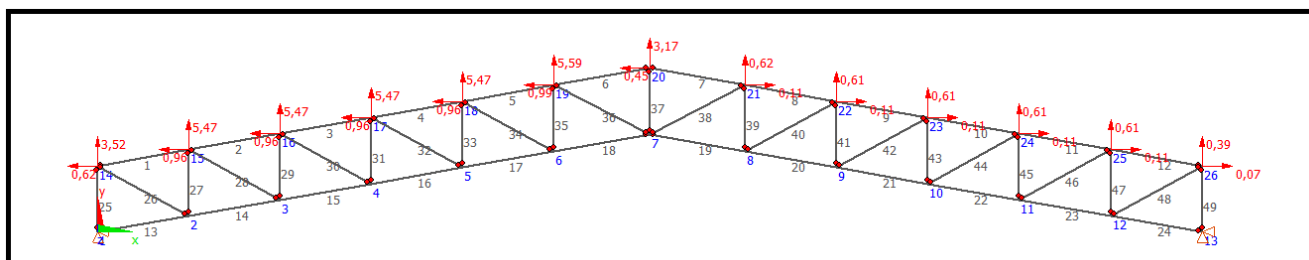
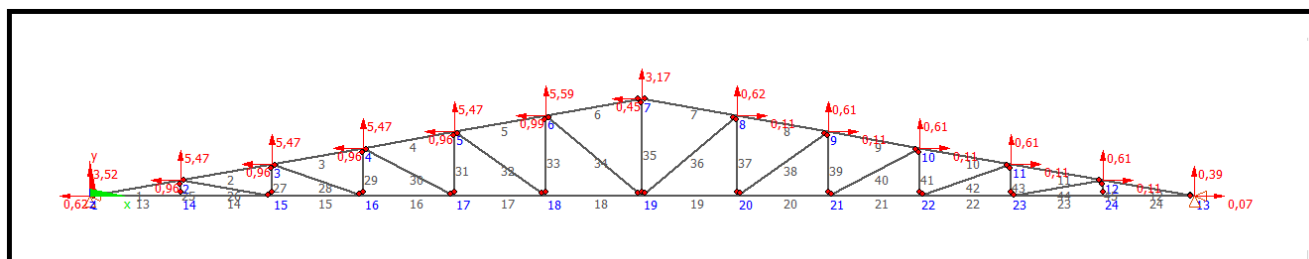
$$W = (C_{pe} - C_{pi}) \times q \times 6 \times \text{faixa de influência} \quad (8)$$

Tabela 6 – Resultados para os carregamentos WA e WB

<b>CÁLCULO DOS ESFORÇOS WA</b>					
Nós da Treliça triangular Howe	Nós da Treliça de banzos paralelos Howe	Nós da Viga contínua e I de MLC	Comprimento de influência [m]	Componente do eixo X [kN]	Componente do eixo Y [kN]
1	14	1	1,35	-0,620	3,518
2	15	2	2,1	-0,965	5,472
3	16	3	2,1	-0,965	5,472
4	17	4	2,1	-0,965	5,472
5	18	5	2,1	-0,965	5,472
6	19	6	2,145	-0,986	5,589
7	20	7	2,19	-0,447	3,170
8	21	8	2,145	0,110	0,621
9	22	9	2,1	0,107	0,608
10	23	10	2,1	0,107	0,608
11	24	11	2,1	0,107	0,608
12	25	12	2,1	0,107	0,608
13	26	13	1,35	0,069	0,391
<b>CÁLCULO DOS ESFORÇOS WB</b>					
Nós da Treliça triangular Howe	Nós da Treliça de banzos paralelos Howe	Nós da Viga contínua e I de MLC	Comprimento de influência [m]	Componente do eixo X [kN]	Componente do eixo Y [kN]
1	14	1	1,35	-0,689	3,909
2	15	2	2,1	-1,072	6,080
3	16	3	2,1	-1,072	6,080
4	17	4	2,1	-1,072	6,080
5	18	5	2,1	-1,072	6,080
6	19	6	2,145	-1,095	6,211
7	20	7	2,19	0,000	6,341
8	21	8	2,145	1,095	6,211
9	22	9	2,1	1,072	6,080
10	23	10	2,1	1,072	6,080
11	24	11	2,1	1,072	6,080
12	25	12	2,1	1,072	6,080
13	26	13	1,35	0,689	3,909

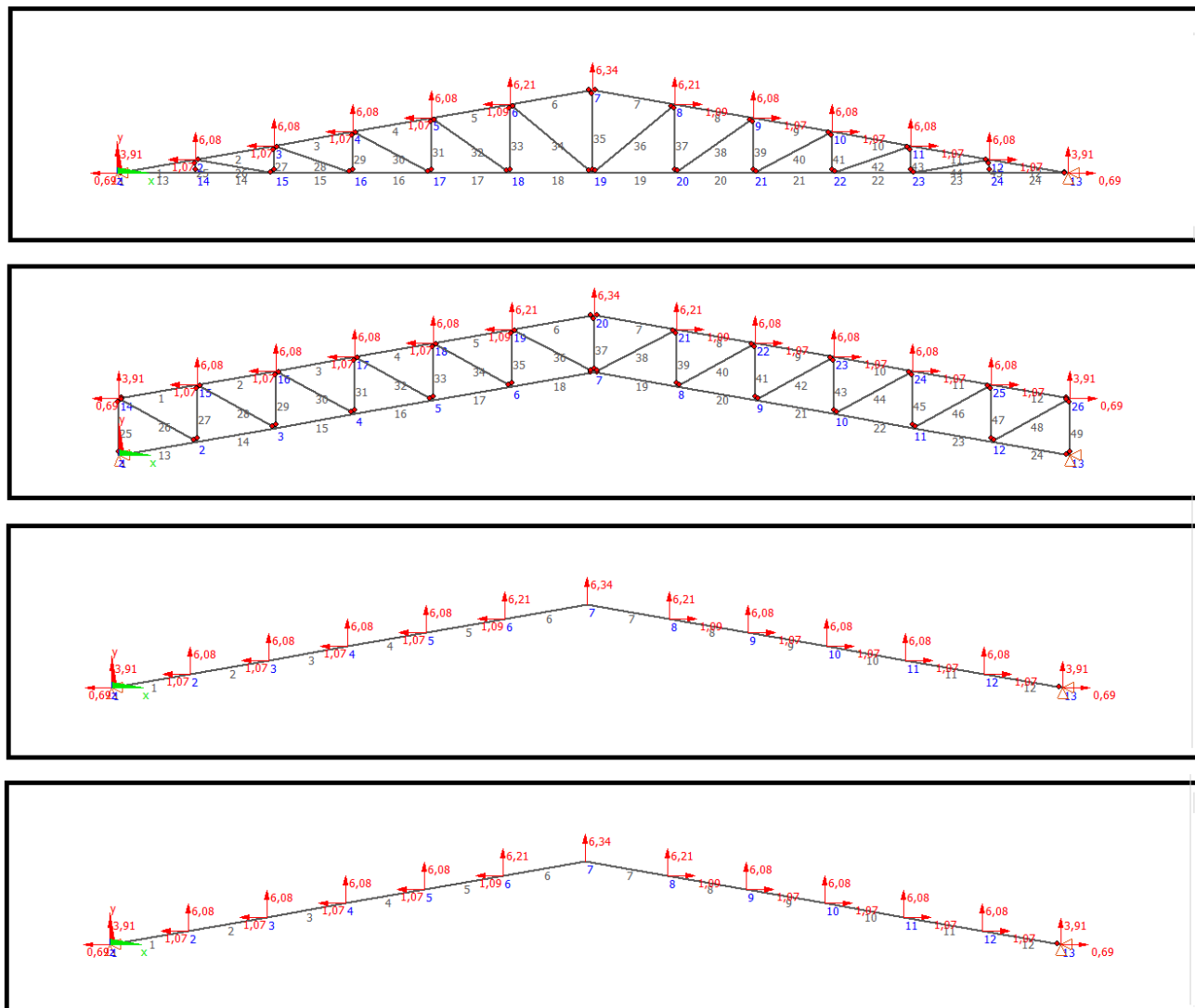
Fonte: autor

Figura 26 – Carregamento WA (vento a 90°) [kN]



Fonte: autor

Figura 27 - Carregamento WB (vento a 0°) [kN]



Fonte: Autor

#### 4.4 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES

Para determinar os esforços e deformações resultantes da estrutura e posteriormente dimensioná-la, foram feitas análises das combinações dos carregamentos para o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS), de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.

#### 4.4.1 COMBINAÇÃO DE AÇÃO PARA O ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)

Para as combinações do Estado Limite Último foram feitas cinco combinações de ações. Foram adotados os coeficientes de acordo com a ABNT NBR 7190:1997, e utilizado a Equação 9 para o cálculo das combinações. Segundo a ABNT NBR 7190:1997, para se levar em conta a maior resistência da madeira perante ação de cargas de curta duração, na verificação da segurança em relação a estados limites últimos, apenas na combinação de ações de longa duração em que o vento representa a ação variável principal, as solicitações nas peças de madeira devidas à ação do vento serão multiplicadas por 0,75. Para a estrutura da Viga de MLC foi desconsiderado o carregamento PUM.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} \times F_{Gi,k} + \gamma_Q \times [F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} \times F_{Qj,k}] \quad (9)$$

Onde:

$F_{Gi,k}$  = Valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  = Valor característico da ação variável principal;

$\Psi_{0j} \times F_{Qj,k}$  = Valores reduzidos das demais ações variáveis;

$\gamma_{Gi}$  = Coeficiente de ponderação das ações permanentes;

$\gamma_Q$  = Coeficiente de ponderação das ações variáveis.

##### 4.4.1.1 PMT COMO ÚNICA AÇÃO VARIÁVEL

Para esta combinação foram considerados  $\gamma_G = 1,4$ , e  $\gamma_Q = 1,4$  por serem ações variáveis consideradas normais. A combinação pode ser observada na Equação 10.

$$F_d = 1,4 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times PMT \quad (10)$$

O resultado da combinação está demonstrado na Figura 28.



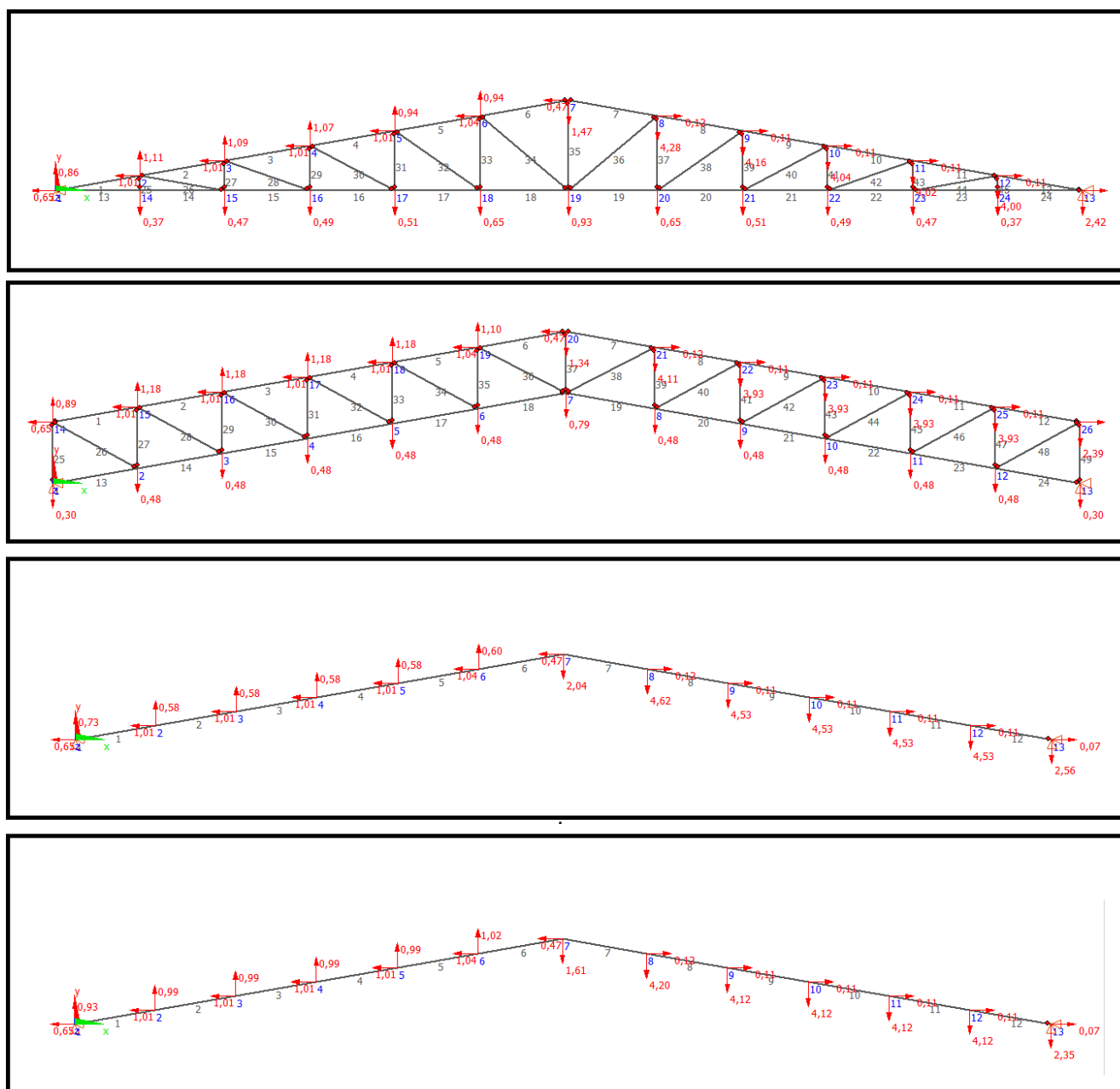


$$F_d = 0,9 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA + 0,4 \times PMT) \quad (11)$$

$$F_d = 0,9 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB + 0,4 \times PMT) \quad (12)$$

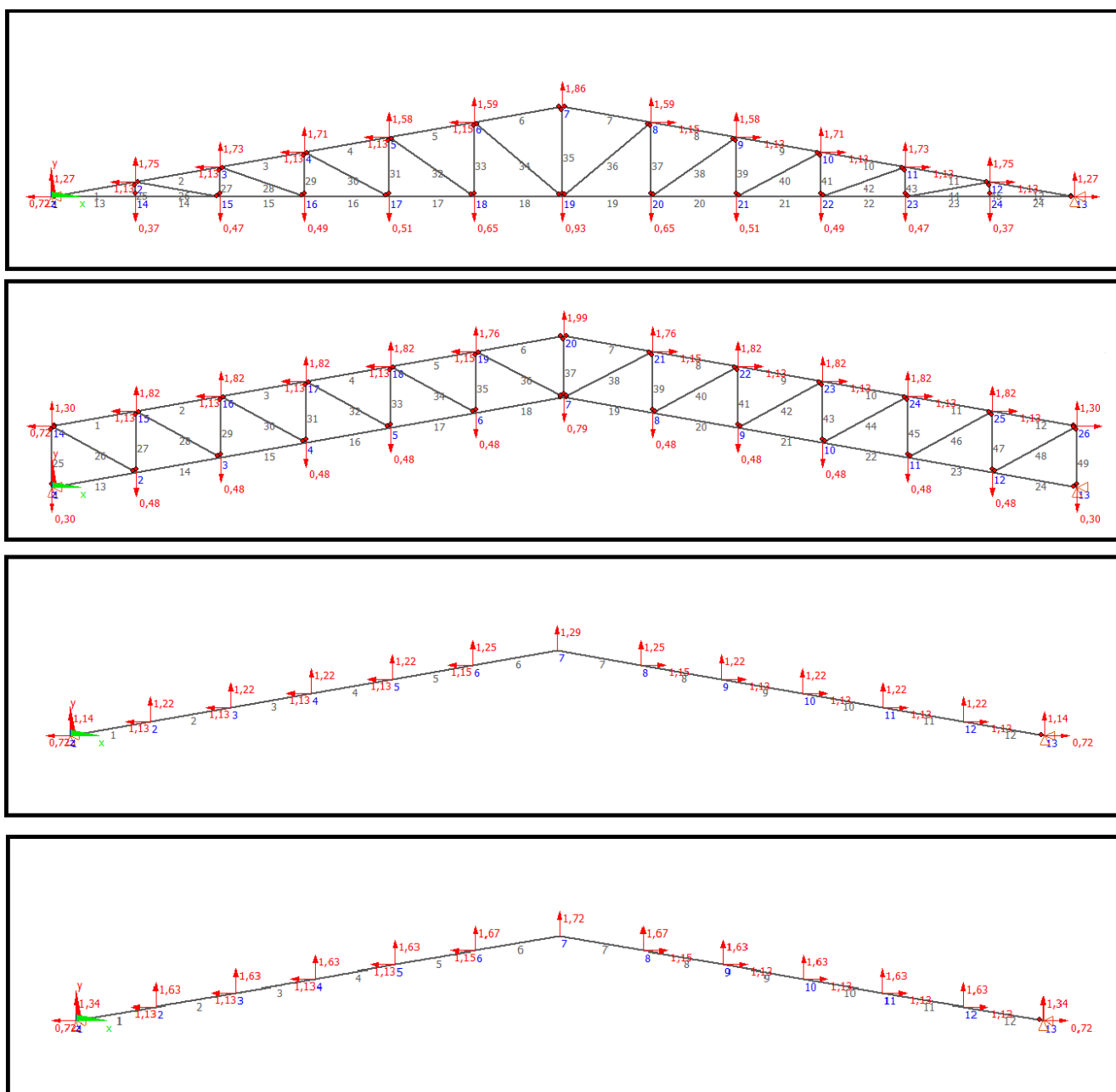
Os resultados das combinações estão demonstrados nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 - Combinação WA como ação variável principal [kN]



Fonte: autor

Figura 30 - Combinação WB como ação variável principal [kN]



Fonte: autor

#### 4.4.1.3 WA e WB COMO ÚNICAS AÇÕES VARIÁVEIS

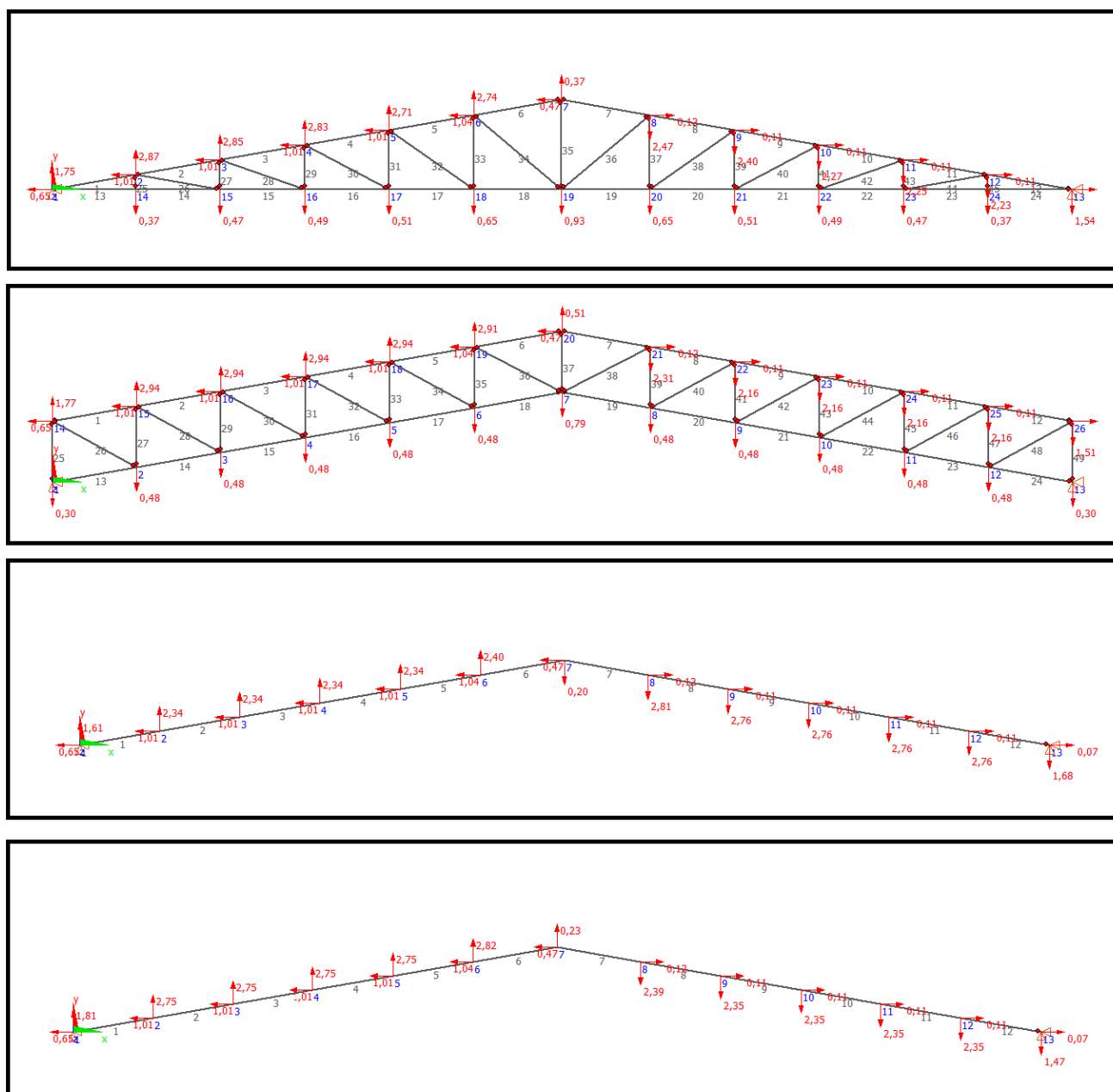
Para estas duas combinações, foram consideradas as ações do vento como única ação variável para se obter resultados que se acentuem melhor os esforços provocados pelo vento. Para as duas combinações, foram considerados os coeficientes  $\gamma_G = 0,9$ , e  $\gamma_Q = 1,4$ . As combinações podem ser observadas na Equação 13 e 14.

$$F_d = 0,9 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA) \quad (13)$$

$$F_d = 0,9 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB) \quad (14)$$

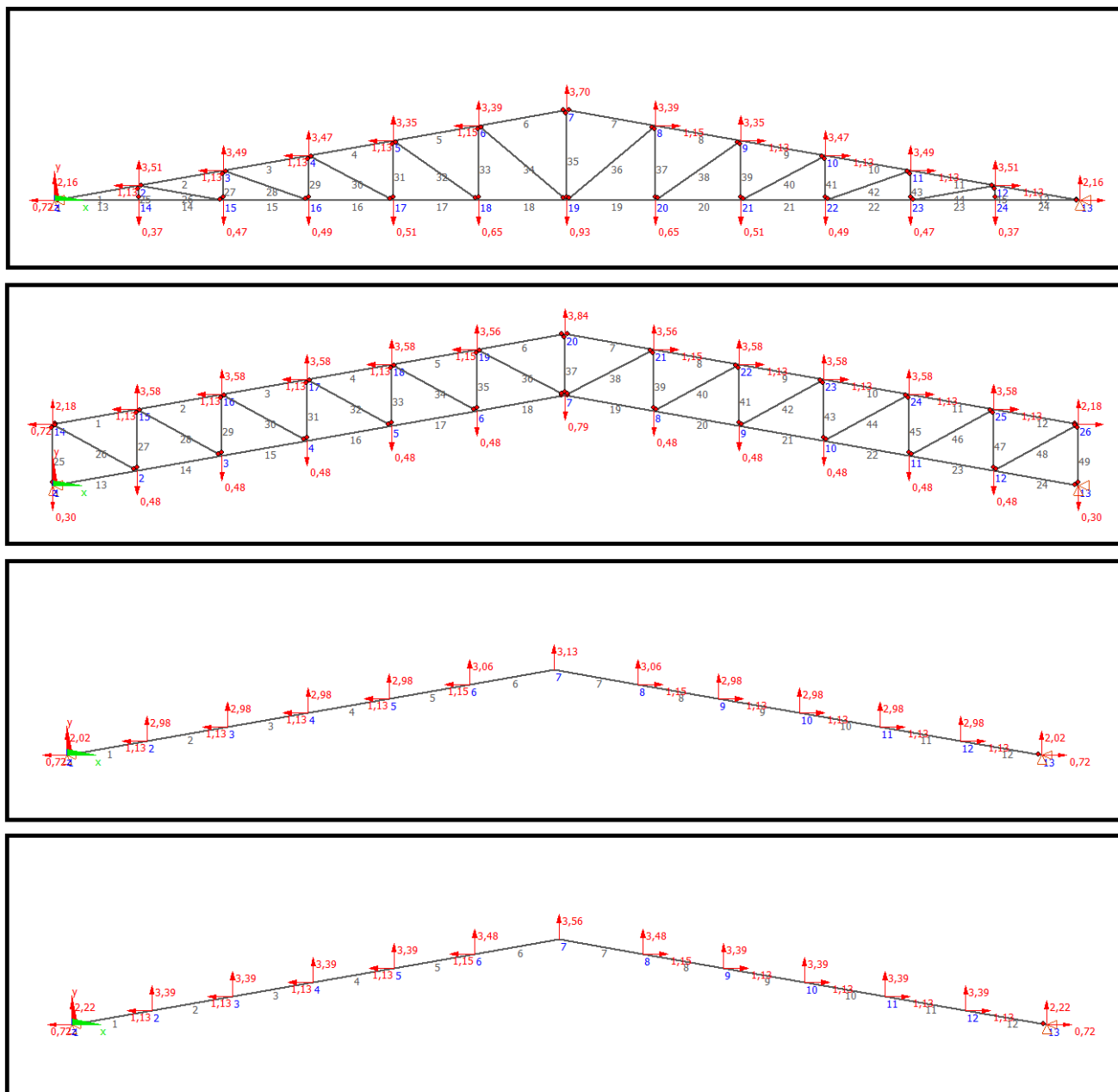
Os resultados das combinações estão demonstrados nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Combinação WA como única ação variável



Fonte: autor

Figura 32 - Combinação WB como única ação variável



Fonte: autor

#### 4.4.2 COMBINAÇÃO DE AÇÃO EM ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

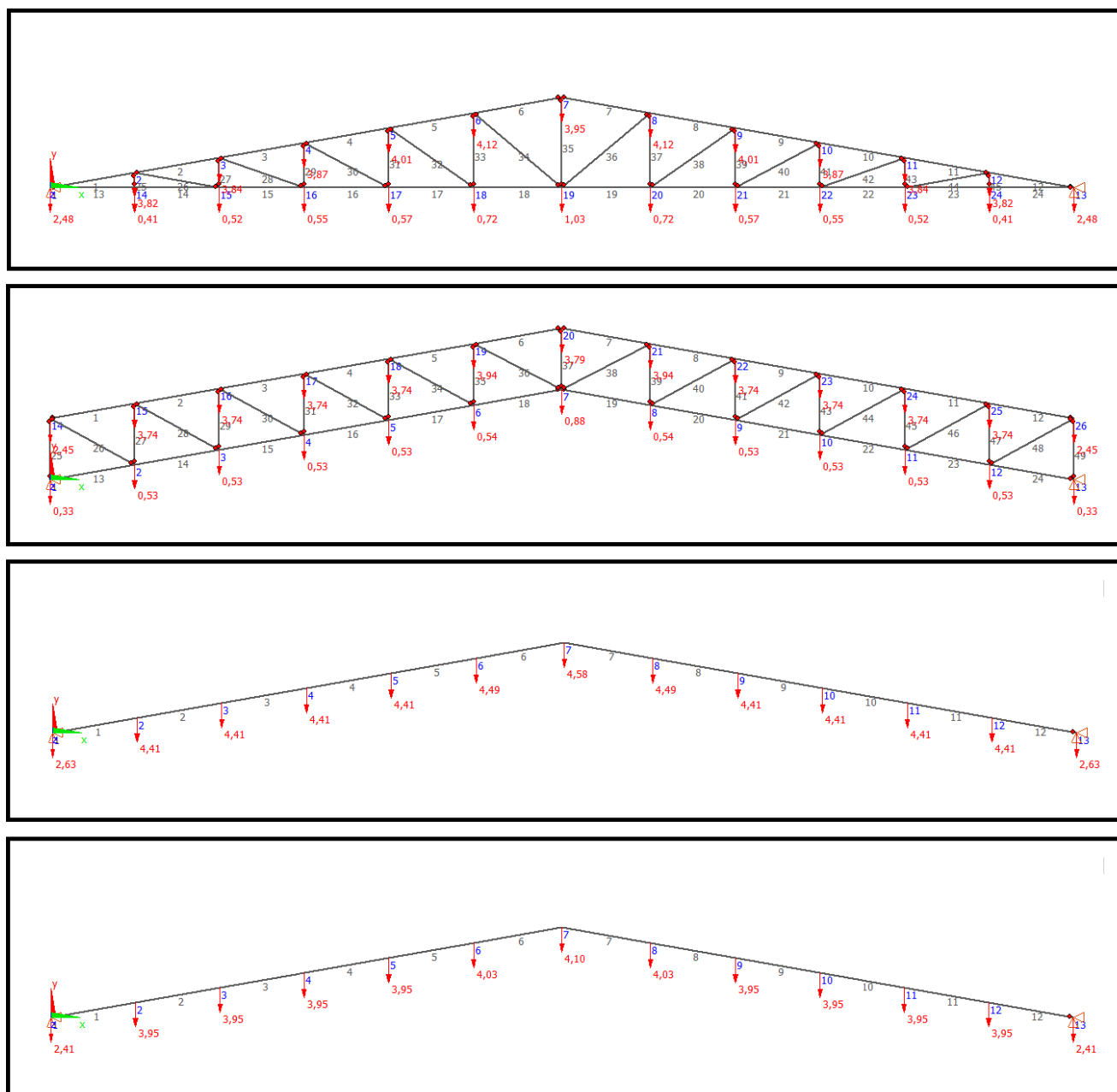
Para a combinação de ação ser verificada no Estado Limite de Serviço (ELS), segundo a ABNT NBR 7190:1997, todas as ações variáveis atuam com seus valores correspondentes à classe de longa duração, onde as combinações de longa duração são consideradas no controle usual das

deformações das estruturas. Para a combinação, foram considerados os coeficientes  $\gamma_G = 1$ ,  $\gamma_Q = 1$  e  $\Psi_2 = 0,2$ . A Equação 15 representa esta combinação.

$$F_d = 1 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1 \times (0,2 \times PMT) \quad (15)$$

O resultado da combinação está demonstrado na Figura 33.

Figura 33 – Combinação para verificação de flecha no ELS



Fonte: autor

## 4.5 ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Na sequência, foram analisados os máximos esforços, deslocamentos e o dimensionamento da estrutura escolhida para este trabalho.

### 4.5.1 ANÁLISE DOS ESFORÇOS MÁXIMOS NAS BARRAS

Com os carregamentos das estruturas lançados no programa Gestrut, onde o mesmo efetua os cálculos dos esforços atuantes em cada barra, foram obtidos os resultados disponibilizados pelo programa, onde foi possível observar os esforços máximos e mínimos da estrutura para cada combinação.

Para a análise dos esforços máximos e mínimos foram utilizadas as combinações do ELU dentro do programa, e seus resultados são apresentados nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 para cada estrutura analisada.

Tabela 7 – Esforços máximos e mínimos da Trelça triangular Howe.

ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times PMT$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	50,36	2,45	0	0	0	514,84
Min	-292,08	-2,45	0	0	0	-514,84
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	37,24	1,2	0	0	0	251,78
Min	-90,67	-1,2	0	0	0	-251,78
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	33,62	0,33	0	0	0	68,59
Min	-5,49	-0,33	0	0	0	-68,59
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	31,31	0,75	0	0	0	158,21
Min	-38,24	-0,75	0	0	0	-158,21

Continua

Tabela 7 – Esforços máximos e mínimos da Treliça triangular Howe.

Continuação

ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	86,06	0,77	0	0	0	162,19
Min	-14,21	-0,77	0	0	0	-162,19

Fonte: autor

Tabela 8 - Esforços máximos e mínimos da Treliça de banzos paralelos Howe.

ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times PMT$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	49,33	0,1	0	0	0	21,76
Min	-124,85	-0,1	0	0	0	-21,76
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	19,55	0,06	0	0	0	12,48
Min	-33,55	-0,06	0	0	0	-12,48
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	16,25	0,02	0	0	0	3,65
Min	-6,75	-0,02	0	0	0	-3,65
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	17,76	0,05	0	0	0	8,63
Min	-18,55	-0,05	0	0	0	-8,63
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	39,23	0,03	0	0	0	7,69
Min	-15,86	-0,03	0	0	0	-7,69

Fonte: autor



Tabela 9 - Esforços máximos e mínimos da Viga de seção retangular de MLC

ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	0	30,23	0	0	0	8077,81
Min	-208,98	-30,23	0	0	0	-8077,81
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	0	12,31	0	0	0	3484,11
Min	-44,82	-12,31	0	0	0	-3484,11
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	28,87	4,44	0	0	0	1195,15
Min	0	-4,44	0	0	0	-1195,15
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	0	6,81	0	0	0	2547,56
Min	-6,78	-6,81	0	0	0	-2547,56
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	65,38	9,94	0	0	0	2664,46
Min	0	-9,94	0	0	0	-2664,46

Fonte: autor

Tabela 10 - Esforços máximos e mínimos da Viga de seção I de MLC

ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	0	28,5	0	0	0	7866,35
Min	-196,67	-28,5	0	0	0	-7866,35
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	0	11,08	0	0	0	3239,84
Min	-36,24	-11,08	0	0	0	-3239,84

Continua

Tabela 10 - Esforços máximos e mínimos da Viga de seção I de MLC

Continuação

ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB+0,4 \times PMT)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	37,61	5,76	0	0	0	1594,96
Min	0	-5,76	0	0	0	-1594,96
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WA)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	7,45	7,44	0	0	0	2638,48
Min	0	-7,44	0	0	0	-2638,48
ESFORÇOS NAS BARRAS [Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA)+1,4 \times (0,75 \times WB)$ ] - Sistema local						
	N [kN]	Vy [kN]	Vx [kN]	Mt [kN·cm]	My [kN·cm]	Mx [kN·cm]
Max	74,39	11,31	0	0	0	3126,42
Min	0	-11,31	0	0	0	-3126,42

Fonte: autor

#### 4.5.2 ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS MÁXIMOS DOS NÓS

A análise do deslocamento nas estruturas foi gerada a partir da combinação do ELS calculada no programa, sendo assim obtidos os resultados apresentados nas Tabelas 11, 12, 13 e 14.

Tabela 11 – Deslocamentos máximos da Treliza triangular Howe

DESLOCAMENTOS DE NÓS (Combinação de carregamento: $(PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+0,2 \times PMT$ )						
nó	x [cm]	y [cm]	z [cm]	x [rad]	y [rad]	z [rad]
Max	0,32475	0	0	0	0	0,00923
Min	-0,32473	-4,88798	0	0	0	-0,00923

Fonte: autor

Tabela 12 - Deslocamentos máximos da Treliza de banzos paralelos Howe

DESLOCAMENTOS DE NÓS (Combinação de carregamento: $PP+PTC+PTL+PUM+PEA+0,2 \times PMT$ )						
nó	x [cm]	y [cm]	z [cm]	x [rad]	y [rad]	z [rad]
Max	0,11781	0	0	0	0	0,00173
Min	-0,11781	-1,25996	0	0	0	-0,00173

Fonte: autor

Tabela 13 - Deslocamentos máximos da Viga de MLC

DESLOCAMENTOS DE NÓS (Combinação de carregamento: PP+PTC+PTL+PEA+0,2×PMT)						
nó	x [cm]	y [cm]	z [cm]	x [rad]	y [rad]	z [rad]
Max	0,29766	0	0	0	0	0,00502
Min	-0,29766	-2,24915	0	0	0	-0,00502

Fonte: autor

Tabela 14 - Deslocamentos máximos da Viga de seção I de MLC

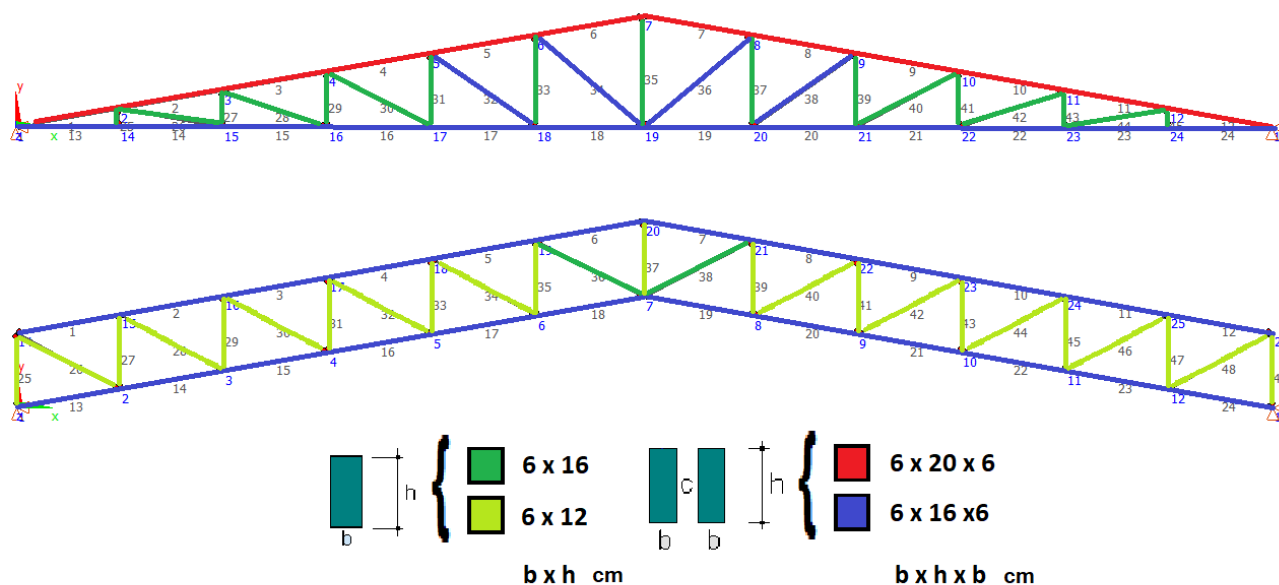
DESLOCAMENTOS DE NÓS (Combinação de carregamento: PP+PTC+PTL+PEA+0,2×PMT)						
nó	x [cm]	y [cm]	z [cm]	x [rad]	y [rad]	z [rad]
Max	0,70541	0	0	0	0	0,01119
Min	-0,70541	-4,81807	0	0	0	-0,01119

Fonte: autor

### 4.5.3 DIMENSIONAMENTO

Para este trabalho, foram escolhidas seções que apresentaram o melhor desempenho estrutural e que respeitaram as condições de segurança segundo a ABNT NBR 7190:1997. Para a estrutura final dimensionada da Trelça triangular, foram escolhidas seções compostas de 6x20x6 cm para o banzo superior e 6x16x6 cm para o banzo inferior mais as barras diagonais 32, 34, 36 e 38, e seções simples de 6x16 cm para os montantes e as outras diagonais. Para a estrutura final dimensionada da Trelça de banzos paralelos, foram escolhidas seções compostas de 6x16x6 cm para os banzos superior e inferior, seções simples de 6x16 cm para as diagonais 36 e 38, e seções simples de 6x12 cm para os montantes e demais diagonais. A Figura 34 apresenta as barras com suas respectivas seções.

Figura 34 – Esquematização das seções dimensionadas nas Trelças



Fonte: autor

As barras de seções compostas precisaram ser travadas com espaçadores interpostos em quantidades e posições específicas. Estes travamentos foram feitos para diminuir o comprimento de flambagem das barras. As Tabelas 15 e 16 apresentam os dados inseridos no Gestrut onde são especificados os intervalos de espaçadores (m) e em quais barras serão colocados.

Tabela 15 – Intervalo de espaçadores (m) para a Trelça triangular Howe

Barra	L (cm)	m (esp.)	Barra	L (cm)	m (esp.)	Barra	L (cm)	m (esp.)
1	210,0010404	9	16	206,81	2	31	145,86	
2	209,9993040	9	17	206,81	2	32	253,0721551	2
3	210,0010404	7	18	215,95	2	33	182,33	
4	209,9993040	5	19	215,98	2	34	282,6280796	2
5	210,0010404	4	20	206,81	2	35	220,41	
6	219,2817568	3	21	206,81	2	36	282,6510026	2
7	219,3113011	3	22	206,81	2	37	182,33	
8	210,0010404	4	23	206,81	2	38	253,0721551	2
9	209,9993040	5	24	206,78	2	39	145,86	
10	210,0010404	7	25	36,47		40	233,9631084	
11	209,9993040	9	26	210,0010404		41	109,4	
12	209,9714963	9	27	72,93		42	219,2924098	
13	206,81	2	28	219,2924098		43	72,93	
14	206,81	2	29	109,4		44	210,0010404	
15	206,81	2	30	233,9631084		45	36,47	

Fonte: autor

Tabela 16 - Intervalo de espaçadores (m) para a Treliça de banzos paralelos Howe

Barra	L (cm)	m (esp.)	Barra	L (cm)	m (esp.)	Barra	L (cm)	m (esp.)
1	209,9993040	2	18	219,2817568	2	35	150	
2	210,0010404	2	19	219,2817568	2	36	243,2292928	
3	210,0010404	3	20	210,0010404	2	37	150	
4	209,9993040	3	21	209,9993040	2	38	243,2292928	
5	210,0010404	2	22	210,0010404	2	39	150	
6	219,2817568	2	23	210,0010404	2	40	235,9225232	
7	219,2817568	2	24	209,9993040	3	41	150	
8	210,0010404	2	25	150		42	235,9273356	
9	209,9993040	3	26	235,9273356		43	150	
10	210,0010404	3	27	150		44	235,9225232	
11	210,0010404	2	28	235,9225232		45	150	
12	209,9993040	2	29	150		46	235,9225232	
13	209,9993040	3	30	235,9225232		47	150	
14	210,0010404	2	31	150		48	235,9273356	
15	210,0010404	2	32	235,9273356		49	150	
16	209,9993040	2	33	150				
17	210,0010404	2	34	235,9225232				

Fonte: autor

As barras dimensionadas da viga de seção retangular foram adotadas de 10x60 cm, e a que compõe a viga de seção I adotada de 6x30 cm para a alma e 12x16 cm para a mesa.

Para o dimensionamento das estruturas foram introduzidos no programa os dados referentes aos coeficientes de modificação. O coeficiente  $K_{mod1}$  foi adotado como sendo 0,7, considerando o carregamento de longa duração para MLC e madeira serrada, onde esse valor foi adotado para as quatro estruturas. O coeficiente  $K_{mod2}$  foi adotado igual a 1 pois foi considerado a madeira com umidade de equilíbrio de 12%, onde esse valor foi adotado também para as quatro estruturas estudadas. O coeficiente  $K_{mod3}$  levou em conta a categoria da madeira, sendo adotado 1,0 para as Vigas de MLC por terem madeira de primeira categoria, e 0,8 para as Treliças, por terem madeira de segunda categoria. Os resultados para o dimensionamento das barras de cada estrutura para as combinações do ELU podem ser observados nas Tabelas 17, 18, 19 e 20. O índice de aproveitamento apresentado nas tabelas se refere à verificação pela comparação da capacidade de carga ( $R_d$ ) e o valor de cálculo da solicitação ( $S_d$ ), onde quando  $S_d \leq R_d$ , o índice se apresenta como sendo menor que um.

Tabela 17- Resultados do dimensionamento para a Trelça triangular Howe

RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-45) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA) + 1,4 \times PMT$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,941	0,761	0,761	(m=9)
2	0,908	0,739	0,739	(m=9)
3	0,524	0,67	0,978	(m=7)
4	0,428	0,6	0,936	(m=5)
5	0,317	0,527	0,882	(m=4)
6	0,242	0,45	0,92	(m=3)
7	0,242	0,45	0,92	(m=3)
8	0,317	0,527	0,882	(m=4)
9	0,428	0,6	0,936	(m=5)
10	0,524	0,67	0,978	(m=7)
11	0,907	0,739	0,739	(m=9)
12	0,94	0,761	0,761	(m=9)
13	0,471	0	0	(tração)
14	0,471	0	0	(tração)
15	0,156	0	0	(tração)
16	0,068	0,068	0,012	(m=2)
17	0,034	0,139	0,195	(m=2)
18	0,059	0,278	0,472	(m=2)
19	0,059	0,278	0,472	(m=2)
20	0,034	0,139	0,195	(m=2)
21	0,068	0,068	0,012	(m=2)
22	0,155	0	0	(tração)
23	0,471	0	0	(tração)
24	0,471	0	0	(tração)
25	0	0,011	0,011	---
26	0,002	0,073	0,104	---
27	0,02	0	0	(tração)
28	0,033	0,273	0,634	---
29	0,064	0	0	(tração)
30	0,037	0,296	0,922	---
31	0,097	0	0	(tração)
32	0,012	0,174	0,287	(m=2)
33	0,134	0	0	(tração)
34	0,015	0,2	0,387	(m=2)
35	0,328	0	0	(tração)
36	0,015	0,2	0,387	(m=2)
37	0,134	0	0	(tração)
38	0,012	0,174	0,287	(m=2)
39	0,097	0	0	(tração)

Continua

Tabela 17 - Resultados do dimensionamento para a Trelça triangular Howe  
Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
40	0,037	0,296	0,922	---
41	0,064	0	0	(tração)
42	0,033	0,273	0,633	---
43	0,02	0	0	(tração)
44	0,002	0,073	0,104	---
45	0	0,011	0,011	---
Max.	0,941	0,761	0,978	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-45) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,039	0,082	0,082	(m=9)
2	0,039	0,081	0,081	(m=9)
3	0,013	0,085	0,118	(m=7)
4	0,009	0,088	0,128	(m=5)
5	0,015	0,091	0,138	(m=4)
6	0,015	0,093	0,159	(m=3)
7	0,019	0,092	0,157	(m=3)
8	0,027	0,128	0,196	(m=4)
9	0,055	0,163	0,237	(m=5)
10	0,066	0,195	0,273	(m=7)
11	0,229	0,228	0,228	(m=9)
12	0,233	0,236	0,236	(m=9)
13	0,04	0,136	0,176	(m=2)
14	0,04	0,136	0,176	(m=2)
15	0,012	0,122	0,172	(m=2)
16	0,008	0,11	0,153	(m=2)
17	0,007	0,099	0,137	(m=2)
18	0,006	0,09	0,125	(m=2)
19	0,011	0,021	0,018	(m=2)
20	0,044	0	0	(tração)
21	0,102	0	0	(tração)
22	0,142	0	0	(tração)
23	0,301	0	0	(tração)
24	0,301	0	0	(tração)
25	0,004	0	0	(tração)
26	0,003	0	0	(tração)
27	0,001	0	0	(tração)
28	0,018	0	0	(tração)
29	0	0,002	0,004	---

Continua

Tabela 17 - Resultados do dimensionamento para a Trelça triangular Howe

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
30	0,016	0	0	(tração)
31	0	0,004	0,008	---
32	0,008	0	0	(tração)
33	0	0,005	0,009	---
34	0,008	0	0	(tração)
35	0,07	0	0	(tração)
36	0,003	0,093	0,141	(m=2)
37	0,063	0	0	(tração)
38	0,003	0,08	0,115	(m=2)
39	0,046	0	0	(tração)
40	0,008	0,136	0,23	---
41	0,031	0	0	(tração)
42	0,007	0,127	0,2	---
43	0,01	0	0	(tração)
44	0	0,025	0,034	---
45	0	0,005	0,005	---
Max.	0,301	0,236	0,273	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-45) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,136	0	0	(tração)
2	0,134	0	0	(tração)
3	0,086	0	0	(tração)
4	0,078	0	0	(tração)
5	0,067	0	0	(tração)
6	0,06	0	0	(tração)
7	0,06	0	0	(tração)
8	0,067	0	0	(tração)
9	0,078	0	0	(tração)
10	0,086	0	0	(tração)
11	0,134	0	0	(tração)
12	0,136	0	0	(tração)
13	0,049	0,066	0,034	(m=2)
14	0,049	0,066	0,034	(m=2)
15	0,008	0,022	0,022	(m=2)
16	0,01	0	0	(tração)
17	0,018	0	0	(tração)
18	0,03	0	0	(tração)
19	0,03	0	0	(tração)

Continua



Tabela 17 - Resultados do dimensionamento para a Trelça triangular Howe

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
20	0,018	0	0	(tração)
21	0,01	0	0	(tração)
22	0,008	0,022	0,022	(m=2)
23	0,049	0,066	0,034	(m=2)
24	0,049	0,066	0,034	(m=2)
25	0,004	0	0	(tração)
26	0,012	0	0	(tração)
27	0	0	0	(tração)
28	0,029	0	0	(tração)
29	0	0,006	0,01	---
30	0,029	0	0	(tração)
31	0	0,011	0,018	---
32	0,016	0	0	(tração)
33	0	0,014	0,025	---
34	0,016	0	0	(tração)
35	0,001	0,053	0,074	---
36	0,016	0	0	(tração)
37	0	0,014	0,025	---
38	0,016	0	0	(tração)
39	0	0,011	0,018	---
40	0,029	0	0	(tração)
41	0	0,006	0,01	---
42	0,029	0	0	(tração)
43	0	0	0	(tração)
44	0,012	0	0	(tração)
45	0,004	0	0	(tração)
Max.	0,136	0,066	0,074	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-45) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,153	0	0	(tração)
2	0,149	0	0	(tração)
3	0,047	0	0	(tração)
4	0,031	0	0	(tração)
5	0,004	0	0	(tração)
6	0,001	0,014	0,022	(m=3)
7	0,004	0,012	0,02	(m=3)
8	0,005	0,035	0,052	(m=4)
9	0,019	0,056	0,081	(m=5)

Continua

Tabela 17 - Resultados do dimensionamento para a Trelça triangular Howe

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
10	0,022	0,076	0,105	(m=7)
11	0,12	0,096	0,096	(m=9)
12	0,121	0,1	0,1	(m=9)
13	0,11	0,222	0,223	(m=2)
14	0,11	0,222	0,223	(m=2)
15	0,022	0,144	0,207	(m=2)
16	0,018	0,108	0,15	(m=2)
17	0,006	0,074	0,1	(m=2)
18	0,004	0,04	0,053	(m=2)
19	0,03	0	0	(tração)
20	0,056	0	0	(tração)
21	0,091	0	0	(tração)
22	0,115	0	0	(tração)
23	0,215	0	0	(tração)
24	0,215	0	0	(tração)
25	0,007	0	0	(tração)
26	0,013	0	0	(tração)
27	0	0,001	0,002	---
28	0,051	0	0	(tração)
29	0	0,013	0,021	---
30	0,052	0	0	(tração)
31	0	0,021	0,036	---
32	0,028	0	0	(tração)
33	0,001	0,028	0,052	---
34	0,03	0	0	(tração)
35	0,013	0	0	(tração)
36	0,001	0,057	0,082	(m=2)
37	0,04	0	0	(tração)
38	0,001	0,049	0,067	(m=2)
39	0,029	0	0	(tração)
40	0,003	0,082	0,124	---
41	0,02	0	0	(tração)
42	0,003	0,077	0,111	---
43	0,007	0	0	(tração)
44	0	0,011	0,014	---
45	0	0,002	0,002	---
Max.	0,215	0,222	0,223	

Continua

Tabela 17 - Resultados do dimensionamento para a Treliza triangular Howe

Continuação

RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-45) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,338	0	0	(tração)
2	0,332	0	0	(tração)
3	0,218	0	0	(tração)
4	0,197	0	0	(tração)
5	0,167	0	0	(tração)
6	0,146	0	0	(tração)
7	0,146	0	0	(tração)
8	0,167	0	0	(tração)
9	0,197	0	0	(tração)
10	0,218	0	0	(tração)
11	0,332	0	0	(tração)
12	0,338	0	0	(tração)
13	0,117	0,15	0,073	(m=2)
14	0,117	0,15	0,073	(m=2)
15	0,022	0,052	0,051	(m=2)
16	0,024	0	0	(tração)
17	0,039	0	0	(tração)
18	0,068	0	0	(tração)
19	0,068	0	0	(tração)
20	0,039	0	0	(tração)
21	0,024	0	0	(tração)
22	0,022	0,052	0,051	(m=2)
23	0,117	0,15	0,073	(m=2)
24	0,117	0,15	0,073	(m=2)
25	0,007	0	0	(tração)
26	0,022	0	0	(tração)
27	0	0,003	0,004	---
28	0,062	0	0	(tração)
29	0	0,017	0,027	---
30	0,065	0	0	(tração)
31	0,001	0,027	0,047	---
32	0,036	0	0	(tração)
33	0,001	0,037	0,07	---
34	0,038	0	0	(tração)
35	0,009	0,138	0,223	---
36	0,038	0	0	(tração)
37	0,001	0,037	0,07	---
38	0,036	0	0	(tração)

Continua

Tabela 17 - Resultados do dimensionamento para a Trelça triangular Howe

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
39	0,001	0,027	0,047	---
40	0,065	0	0	(tração)
41	0	0,017	0,027	---
42	0,062	0	0	(tração)
43	0	0,003	0,004	---
44	0,022	0	0	(tração)
45	0,007	0	0	(tração)
Max.	0,338	0,15	0,223	

Fonte: autor

Tabela 18 - Resultados do dimensionamento para a Trelça de banzos paralelos Howe

RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-49) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA)+1,4 \times PMT$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,025	0,216	0,333	(m=2)
2	0,078	0,369	0,697	(m=2)
3	0,113	0,457	0,518	(m=3)
4	0,126	0,478	0,543	(m=3)
5	0,109	0,43	0,906	(m=2)
6	0,048	0,31	0,561	(m=2)
7	0,048	0,31	0,561	(m=2)
8	0,109	0,43	0,906	(m=2)
9	0,126	0,478	0,543	(m=3)
10	0,113	0,457	0,518	(m=3)
11	0,078	0,369	0,697	(m=2)
12	0,025	0,216	0,333	(m=2)
13	0,174	0,633	0,744	(m=3)
14	0,091	0,403	0,808	(m=2)
15	0,05	0,249	0,4	(m=2)
16	0,041	0,165	0,24	(m=2)
17	0,039	0,149	0,208	(m=2)
18	0,026	0,191	0,295	(m=2)
19	0,026	0,191	0,295	(m=2)
20	0,039	0,149	0,208	(m=2)
21	0,041	0,165	0,24	(m=2)
22	0,05	0,249	0,4	(m=2)
23	0,091	0,403	0,808	(m=2)
24	0,174	0,633	0,744	(m=3)

Continua

Tabela 18 - Resultados do dimensionamento para a Treliza de banzos paralelos Howe

## Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
25	0,101	0,474	0,771	---
26	0,428	0	0	(tração)
27	0,07	0,393	0,59	---
28	0,296	0	0	(tração)
29	0,033	0,269	0,365	---
30	0,168	0	0	(tração)
31	0,01	0,147	0,184	---
32	0,038	0	0	(tração)
33	0	0,027	0,032	---
34	0,008	0,146	0,23	---
35	0,064	0	0	(tração)
36	0,03	0,268	0,804	Lambda Y (140,4) > 140
37	0,109	0	0	(tração)
38	0,03	0,268	0,804	Lambda Y (140,4) > 140
39	0,064	0	0	(tração)
40	0,008	0,146	0,23	---
41	0	0,027	0,032	---
42	0,038	0	0	(tração)
43	0,01	0,147	0,184	---
44	0,168	0	0	(tração)
45	0,033	0,269	0,365	---
46	0,296	0	0	(tração)
47	0,07	0,393	0,59	---
48	0,428	0	0	(tração)
49	0,016	0,127	0,24	---
Max.	0,428	0,633	0,906	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-49) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,011	0	0	(tração)
2	0,011	0	0	(tração)
3	0,006	0,008	0,002	(m=3)
4	0,006	0,018	0,015	(m=3)
5	0,007	0,033	0,043	(m=2)
6	0,005	0,057	0,078	(m=2)
7	0,003	0,055	0,075	(m=2)
8	0,024	0,124	0,176	(m=2)
9	0,028	0,159	0,171	(m=3)
10	0,026	0,164	0,177	(m=3)
11	0,022	0,139	0,2	(m=2)

Continua

Tabela 18 - Resultados do dimensionamento para a Treliza de banzos paralelos Howe

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
12	0,013	0,084	0,116	(m=2)
13	0,016	0,136	0,146	(m=3)
14	0,016	0,137	0,196	(m=2)
15	0,014	0,132	0,188	(m=2)
16	0,012	0,12	0,17	(m=2)
17	0,011	0,103	0,144	(m=2)
18	0,003	0,081	0,112	(m=2)
19	0,017	0	0	(tração)
20	0,051	0	0	(tração)
21	0,054	0	0	(tração)
22	0,035	0	0	(tração)
23	0,014	0,032	0,031	(m=2)
24	0,009	0,108	0,116	(m=3)
25	0,001	0	0	(tração)
26	0	0,002	0,002	---
27	0,005	0	0	(tração)
28	0,01	0	0	(tração)
29	0	0,003	0,004	---
30	0,022	0	0	(tração)
31	0	0,014	0,017	---
32	0,034	0	0	(tração)
33	0	0,025	0,03	---
34	0,046	0	0	(tração)
35	0,001	0,036	0,043	---
36	0,044	0	0	(tração)
37	0,023	0	0	(tração)
38	0,01	0,154	0,285	Lambda Y (140,4) > 140
39	0,047	0	0	(tração)
40	0,005	0,11	0,161	---
41	0,01	0	0	(tração)
42	0	0,015	0,019	---
43	0,001	0,041	0,048	---
44	0,051	0	0	(tração)
45	0,004	0,096	0,118	---
46	0,11	0	0	(tração)
47	0,011	0,152	0,191	---
48	0,17	0	0	(tração)
49	0,017	0,189	0,243	---
Max.	0,17	0,164	0,2	

Continua

Tabela 18 - Resultados do dimensionamento para a Treliza de banzos paralelos Howe

Continuação

RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-49) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,023	0	0	(tração)
2	0,041	0	0	(tração)
3	0,051	0	0	(tração)
4	0,054	0	0	(tração)
5	0,05	0	0	(tração)
6	0,033	0	0	(tração)
7	0,033	0	0	(tração)
8	0,05	0	0	(tração)
9	0,054	0	0	(tração)
10	0,051	0	0	(tração)
11	0,041	0	0	(tração)
12	0,023	0	0	(tração)
13	0,054	0	0	(tração)
14	0,037	0	0	(tração)
15	0,025	0	0	(tração)
16	0,02	0	0	(tração)
17	0,022	0	0	(tração)
18	0,026	0	0	(tração)
19	0,026	0	0	(tração)
20	0,022	0	0	(tração)
21	0,02	0	0	(tração)
22	0,025	0	0	(tração)
23	0,037	0	0	(tração)
24	0,054	0	0	(tração)
25	0,05	0	0	(tração)
26	0,003	0,095	0,135	---
27	0,041	0	0	(tração)
28	0,001	0,06	0,081	---
29	0,028	0	0	(tração)
30	0	0,026	0,034	---
31	0,015	0	0	(tração)
32	0,005	0	0	(tração)
33	0,001	0	0	(tração)
34	0,025	0	0	(tração)
35	0	0,017	0,02	---
36	0,035	0	0	(tração)
37	0	0,019	0,022	---
38	0,035	0	0	(tração)
39	0	0,017	0,02	---

Continua

Tabela 18 - Resultados do dimensionamento para a Treliza de banzos paralelos Howe

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
40	0,025	0	0	(tração)
41	0,001	0	0	(tração)
42	0,005	0	0	(tração)
43	0,015	0	0	(tração)
44	0	0,026	0,034	---
45	0,028	0	0	(tração)
46	0,001	0,06	0,081	---
47	0,041	0	0	(tração)
48	0,003	0,095	0,135	---
49	0,05	0	0	(tração)
Max.	0,054	0,095	0,135	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-49) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP + PTC + PTL + PUM + PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,038	0	0	(tração)
2	0,057	0	0	(tração)
3	0,063	0	0	(tração)
4	0,059	0	0	(tração)
5	0,042	0	0	(tração)
6	0,002	0,003	0,002	(m=2)
7	0	0	0	(tração)
8	0,013	0,05	0,062	(m=2)
9	0,014	0,073	0,077	(m=3)
10	0,013	0,081	0,087	(m=3)
11	0,012	0,072	0,098	(m=2)
12	0,01	0,046	0,06	(m=2)
13	0,007	0,026	0,025	(m=3)
14	0,012	0,064	0,086	(m=2)
15	0,014	0,086	0,118	(m=2)
16	0,015	0,09	0,125	(m=2)
17	0,014	0,077	0,104	(m=2)
18	0,003	0,046	0,061	(m=2)
19	0,039	0	0	(tração)
20	0,064	0	0	(tração)
21	0,069	0	0	(tração)
22	0,061	0	0	(tração)
23	0,043	0	0	(tração)
24	0,008	0	0	(tração)
25	0,068	0	0	(tração)

Continua



Tabela 18 - Resultados do dimensionamento para a Treliza de banzos paralelos Howe

## Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
26	0,006	0,13	0,199	---
27	0,055	0	0	(tração)
28	0,002	0,072	0,099	---
29	0,033	0	0	(tração)
30	0	0,014	0,017	---
31	0,01	0	0	(tração)
32	0,028	0	0	(tração)
33	0	0,019	0,022	---
34	0,063	0	0	(tração)
35	0,001	0,052	0,062	---
36	0,076	0	0	(tração)
37	0,005	0	0	(tração)
38	0,005	0,105	0,170	Lambda Y (140,4) > 140
39	0,037	0	0	(tração)
40	0,003	0,082	0,115	---
41	0,014	0	0	(tração)
42	0	0,026	0,033	---
43	0	0,012	0,014	---
44	0,02	0	0	(tração)
45	0,001	0,045	0,054	---
46	0,055	0	0	(tração)
47	0,003	0,078	0,095	---
48	0,091	0	0	(tração)
49	0,005	0,103	0,127	---
Max.	0,091	0,13	0,199	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-49) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PUM+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,051	0	0	(tração)
2	0,09	0	0	(tração)
3	0,111	0	0	(tração)
4	0,117	0	0	(tração)
5	0,107	0	0	(tração)
6	0,071	0	0	(tração)
7	0,071	0	0	(tração)
8	0,107	0	0	(tração)
9	0,117	0	0	(tração)
10	0,111	0	0	(tração)
11	0,09	0	0	(tração)

Continua

Tabela 18 - Resultados do dimensionamento para a Treliza de banzos paralelos Howe

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
12	0,051	0	0	(tração)
13	0,13	0	0	(tração)
14	0,089	0	0	(tração)
15	0,059	0	0	(tração)
16	0,046	0	0	(tração)
17	0,045	0	0	(tração)
18	0,051	0	0	(tração)
19	0,051	0	0	(tração)
20	0,045	0	0	(tração)
21	0,046	0	0	(tração)
22	0,059	0	0	(tração)
23	0,089	0	0	(tração)
24	0,13	0	0	(tração)
25	0,108	0	0	(tração)
26	0,019	0,228	0,446	---
27	0,091	0	0	(tração)
28	0,008	0,15	0,239	---
29	0,063	0	0	(tração)
30	0,002	0,076	0,106	---
31	0,034	0	0	(tração)
32	0	0,003	0,004	---
33	0,006	0	0	(tração)
34	0,042	0	0	(tração)
35	0,001	0,033	0,039	---
36	0,067	0	0	(tração)
37	0,001	0,045	0,054	---
38	0,067	0	0	(tração)
39	0,001	0,033	0,039	---
40	0,042	0	0	(tração)
41	0,006	0	0	(tração)
42	0	0,003	0,004	---
43	0,034	0	0	(tração)
44	0,002	0,076	0,106	---
45	0,063	0	0	(tração)
46	0,008	0,15	0,239	---
47	0,091	0	0	(tração)
48	0,019	0,228	0,446	---
49	0,108	0	0	(tração)
Max.	0,13	0,228	0,446	

Fonte: autor

Tabela 19 - Resultados do dimensionamento para a Viga de seção retangular de MLC

RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,341	0,174	0,61	---
2	0,483	0,173	0,75	---
3	0,483	0,171	0,747	---
4	0,458	0,17	0,721	---
5	0,266	0,169	0,527	---
6	0,701	0,167	0,965	---
7	0,701	0,167	0,965	---
8	0,266	0,169	0,527	---
9	0,458	0,17	0,721	---
10	0,483	0,171	0,747	---
11	0,483	0,173	0,75	---
12	0,341	0,174	0,61	---
Max.	0,701	0,174	0,965	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,056	0,037	0,116	---
2	0,097	0,037	0,156	---
3	0,125	0,036	0,183	---
4	0,14	0,035	0,197	---
5	0,142	0,034	0,198	---
6	0,142	0,034	0,197	---
7	0,13	0,031	0,181	---
8	0,233	0,032	0,284	---
9	0,291	0,033	0,344	---
10	0,291	0,034	0,345	---
11	0,272	0,034	0,327	---
12	0,176	0,035	0,232	---
Max.	0,291	0,037	0,345	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,065	0	0	(tração)
2	0,087	0	0	(tração)
3	0,088	0	0	(tração)
4	0,085	0	0	(tração)
5	0,057	0	0	(tração)
6	0,124	0	0	(tração)
7	0,124	0	0	(tração)
8	0,057	0	0	(tração)

Continua

Tabela 19 - Resultados do dimensionamento para a Viga de seção retangular de MLC

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
9	0,085	0	0	(tração)
10	0,088	0	0	(tração)
11	0,087	0	0	(tração)
12	0,065	0	0	(tração)
Max.	0,124	0	0	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,111	0,006	0,12	---
2	0,178	0,005	0,187	---
3	0,202	0,005	0,21	---
4	0,202	0,004	0,209	---
5	0,182	0,004	0,188	---
6	0,119	0,003	0,125	---
7	0,117	0,001	0,119	---
8	0,189	0,001	0,191	---
9	0,212	0,002	0,215	---
10	0,212	0,002	0,216	---
11	0,189	0,003	0,193	---
12	0,118	0,003	0,123	---
Max.	0,212	0,006	0,216	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,154	0	0	(tração)
2	0,201	0	0	(tração)
3	0,201	0	0	(tração)
4	0,194	0	0	(tração)
5	0,131	0	0	(tração)
6	0,277	0	0	(tração)
7	0,277	0	0	(tração)
8	0,131	0	0	(tração)
9	0,194	0	0	(tração)
10	0,201	0	0	(tração)
11	0,201	0	0	(tração)
12	0,154	0	0	(tração)
Max.	0,277	0	0	

Fonte: autor

Tabela 20 - Resultados do dimensionamento para a Viga de seção I de MLC

RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $1,4 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,321	0,174	0,585	---
2	0,452	0,173	0,714	---
3	0,451	0,172	0,711	---
4	0,423	0,17	0,681	---
5	0,237	0,169	0,493	---
6	0,695	0,167	0,952	---
7	0,695	0,167	0,952	---
8	0,237	0,169	0,493	---
9	0,423	0,17	0,681	---
10	0,451	0,172	0,711	---
11	0,452	0,173	0,714	---
12	0,321	0,174	0,585	---
Max.	0,695	0,174	0,952	---
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,07	0,032	0,122	---
2	0,119	0,031	0,17	---
3	0,148	0,031	0,197	---
4	0,156	0,03	0,204	---
5	0,156	0,029	0,203	---
6	0,143	0,028	0,19	---
7	0,108	0,026	0,15	---
8	0,223	0,027	0,266	---
9	0,275	0,027	0,32	---
10	0,275	0,028	0,321	---
11	0,256	0,029	0,302	---
12	0,164	0,03	0,212	---
Max.	0,275	0,032	0,321	---
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB + 0,4 \times PMT)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,088	0	0	(tração)
2	0,115	0	0	(tração)
3	0,116	0	0	(tração)
4	0,111	0	0	(tração)

Continua

Tabela 20 - Resultados do dimensionamento para a Viga de seção I de MLC

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
5	0,074	0	0	(tração)
6	0,168	0	0	(tração)
7	0,168	0	0	(tração)
8	0,074	0	0	(tração)
9	0,111	0	0	(tração)
10	0,116	0	0	(tração)
11	0,115	0	0	(tração)
12	0,088	0	0	(tração)
Max.	0,168	0	0	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WA)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,128	0	0	(tração)
2	0,203	0	0	(tração)
3	0,226	0	0	(tração)
4	0,227	0	0	(tração)
5	0,199	0	0	(tração)
6	0,12	0	0	(tração)
7	0,132	0	0	(tração)
8	0,188	0	0	(tração)
9	0,203	0	0	(tração)
10	0,203	0	0	(tração)
11	0,177	0	0	(tração)
12	0,111	0	0	(tração)
Max.	0,227	0	0	
RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-12) (ABNT NBR 7190:1997)				
Dimensões: kN e cm				
Combinação de carregamento: $0,9 \times (PP+PTC+PTL+PEA) + 1,4 \times (0,75 \times WB)$				
Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,179	0	0	(tração)
2	0,231	0	0	(tração)
3	0,231	0	0	(tração)
4	0,221	0	0	(tração)
5	0,148	0	0	(tração)
6	0,331	0	0	(tração)
7	0,331	0	0	(tração)
8	0,148	0	0	(tração)
9	0,221	0	0	(tração)
10	0,231	0	0	(tração)

Continua

Tabela 20 - Resultados do dimensionamento para a Viga de seção I de MLC

Continuação

Índice de aproveitamento da seção transversal				
Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
11	0,231	0	0	(tração)
12	0,179	0	0	(tração)
Max.	0,331	0	0	

Fonte: autor

Foram obtidos também os resultados para o dimensionamento segundo os critérios da ABNT NBR 7190:1997 para a análise da flecha máxima para o carregamento do ELS. São apresentados nas Tabelas 21, 22, 23 e 24 os resultados para o dimensionamento, seguindo os limites do deslocamento máximo em Y.

Tabela 21 – Deslocamentos limites para Treliza triangular Howe

DESLOCAMENTOS
Nós selecionados: Todos (1 a 24)
Maximo deslocamento "Y" para os nós selecionados = 4,88798 cm
Deslocamento limite (2500/200) = 12,50000 cm
Deslocamentos aceitáveis.

Fonte: autor

Tabela 22 – Deslocamentos limites para Treliza de banzos paralelos Howe

DESLOCAMENTOS
Nós selecionados: Todos (1 a 26)
Maximo deslocamento "Y" para os nós selecionados = 1,26642 cm
Deslocamento limite (2500/200) = 12,50000 cm
Deslocamentos aceitáveis.

Fonte: autor

Tabela 23 – Deslocamentos limites para Viga de seção retangular de MLC

DESLOCAMENTOS
Nós selecionados: Todos (1 a 13)
Maximo deslocamento "Y" para os nós selecionados = 2,24915 cm
Deslocamento limite (2500/200) = 12,50000 cm
Deslocamentos aceitáveis.

Fonte: autor

Tabela 24 – Deslocamentos limites para Viga de seção I de MLC

DESLOCAMENTOS
Nós selecionados: Todos (1 a 13)
Maximo deslocamento "Y" para os nós selecionados = 4,81807 cm
Deslocamento limite (2500/200) = 12,50000 cm
Deslocamentos aceitáveis.

Fonte: autor

#### 4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O programa Gestrut se mostrou bem útil e de fácil uso por mostrar nas tabelas o índice de aproveitamento da seção, e as observações para cada barra dimensionada. Observações como "(m=9)", "(tração)" e "---" representam condições onde a estrutura está corretamente dimensionada, onde o primeiro caso demonstra a quantidade de solidarizações na barra, o segundo aponta que a barra sofre tração, e a terceira mostra que não tem nenhuma observação feita para a barra.

A Figura 35 mostra uma situação exemplo do manual para o uso do programa Gestrut, em que para a barra 1 o valor do Lambda está muito acima do limite e o valor do índice de aproveitamento para a estabilidade em Y esta acima de 1, o que torna aquela barra não dimensionada, e a barra 2 o valor de Nd está maior que o valor de FE, que mostra que a barra deve ser reforçada através de uma mudança de seção.

Figura 35 – Exemplo de relatório

RELATÓRIO DO DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS (1-3) (ABNT NBR 7190:1997)  
 Dimensões: kN e cm  
 Combinação de carregamento: G  
 Índice de aproveitamento da seção transversal

Barra	Resistência	Estabilidade X	Estabilidade Y	Observação
1	0,005	0,078	4,089	Lambda Y (346,4) > 140
2	0,019	> 1	> 1	Nd > FE (19,02 > 16,28)
3	0,062	0,000	0,000	---
Max.	0,062	0,078	4,089	

Fonte: Gesualdo (2017)



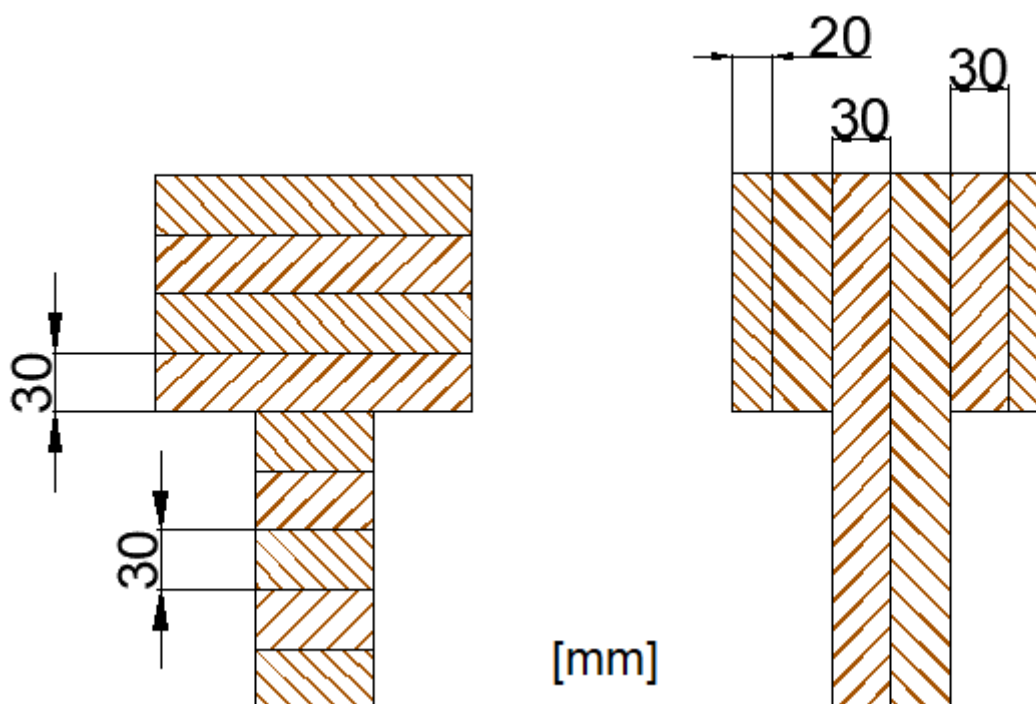
Para a escolha das seções que foram utilizadas neste trabalho, optou-se por escolher seções para as barras que fossem de fácil acesso e dimensões que não implicariam um custo extra para produzi-las. Foram feitos testes com várias seções até chegar a uma solução estrutural que atendesse os parâmetros da norma, e que fosse real a sua possibilidade de emprego em uma estrutura de cobertura.

O uso da seção composta nas estruturas da Treliza triangular e a Treliza de banzos paralelos se deu, pois as seções que foram testadas até atingirem os parâmetros de segurança estavam apresentando seções simples maiores que as comerciais, tais como a da estrutura de Treliza triangular onde uma das seções do banzo superior teve uma medida de 12x40 cm com área de 480 cm<sup>2</sup>, notoriamente maior do que 240 cm<sup>2</sup> da seção 6x20x6 cm adotada.

Para a Viga de seção retangular, a dimensão escolhida como sendo 10x60 cm levou em conta a flexibilidade para a criação do componente estrutural de MLC, sendo esta viga confeccionada a partir de seções menores de 5x10 cm, o que faria da viga uma composição de 12 destas seções.

A Viga de seção I constituída com MLC foi uma opção pensada em sua eficiência estrutural, onde a região com menor quantitativo de material, representado pela alma da viga, é a região onde apresentam as menores tensões de compressão e tração. Para a peça escolhida, a posição e dimensões dos componentes possuem certa flexibilidade de escolha, onde sua parte estrutural tem a possibilidade de ser colada na vertical ou na horizontal. A Figura 36 mostra essas estruturas.

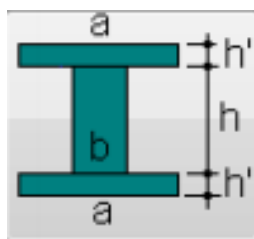
Figura 36 – Colagem dos componentes estruturais da Viga de perfil I de MLC



Fonte: autor

As espessuras das chapas a serem coladas podem variar, mas é aconselhável que sua espessura não ultrapasse 50 mm, pois lâminas maiores podem apresentar problemas na secagem, como aconselham as normas Norte Americanas. Para este trabalho não foi adotada uma espessura específica das lâminas e nem um posicionamento específico. Dentro do programa Gestrut foram adotadas medidas que definem a seção I criada dentro do programa, como consta na Figura 37.

Figura 37 – Seção I do programa Gestrut



Fonte: Gesualdo (2017)

Neste trabalho, todas as estruturas com suas respectivas seções apresentaram um comportamento aceitável perante as condições exigidas pela ABNT NBR 7190:1997 apontadas pelo programa Gestrut, e com isso, foi possível calcular o volume total de madeira que compõem a parte estrutural

da cobertura para cada tipo de estrutura. Os valores volumétricos de madeira que serão comparados estão apresentados nas Tabelas 26, 27, 28 e 29.

Tabela 26 – Volume total de madeira para a Treliça triangular Howe

Treliça triangular Howe			
Barra	Ax (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	V (m <sup>3</sup> )
1	240	210	0,0504
2	240	210	0,0504
3	240	210	0,0504
4	240	210	0,0504
5	240	210	0,0504
6	240	219,3	0,052632
7	240	219,3	0,052632
8	240	210	0,0504
9	240	210	0,0504
10	240	210	0,0504
11	240	210	0,0504
12	240	210	0,0504
13	192	206,8	0,039706
14	192	206,8	0,039706
15	192	206,8	0,039706
16	192	206,8	0,039706
17	192	206,8	0,039706
18	192	216	0,041472
19	192	216	0,041472
20	192	206,8	0,039706
21	192	206,8	0,039706
22	192	206,8	0,039706
23	192	206,8	0,039706
24	192	206,8	0,039706
25	96	36,47	0,003501
26	96	210	0,02016
27	96	72,93	0,007001
28	96	219,3	0,021053
29	96	109,4	0,010502
30	96	234	0,022464
31	96	145,9	0,014006
32	192	253,1	0,048595
33	96	182,3	0,017501
34	192	282,6	0,054259
35	96	220,4	0,021158
36	192	282,6	0,054259
37	96	182,3	0,017501
38	192	253,1	0,048595

Continua

Tabela 26 – Volume total de madeira para a Treliza triangular Howe

Continuação

Barra	Ax (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	V (m <sup>3</sup> )
39	96	145,9	0,014006
40	96	234	0,022464
41	96	109,4	0,010502
42	96	219,3	0,021053
43	96	72,93	0,007001
44	96	210	0,02016
45	96	36,47	0,003501
Total			1,55

Fonte: autor

Tabela 27 - Volume total de madeira para a Treliza de banzos paralelos Howe

Treliza de banzos paralelos Howe			
Barra	Ax (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	V (m <sup>3</sup> )
1	192	210	0,04032
2	192	210	0,04032
3	192	210	0,04032
4	192	210	0,04032
5	192	210	0,04032
6	192	219,3	0,042106
7	192	219,3	0,042106
8	192	210	0,04032
9	192	210	0,04032
10	192	210	0,04032
11	192	210	0,04032
12	192	210	0,04032
13	192	210	0,04032
14	192	210	0,04032
15	192	210	0,04032
16	192	210	0,04032
17	192	210	0,04032
18	192	219,3	0,042106
19	192	219,3	0,042106
20	192	210	0,04032
21	192	210	0,04032
22	192	210	0,04032
23	192	210	0,04032
24	192	210	0,04032
25	72	150	0,0108
26	72	236	0,016992
27	72	150	0,0108
28	72	236	0,016992

Continua

Tabela 27 - Volume total de madeira para a Trelça de banzos paralelos Howe

Continuação

Barra	Ax (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	V (m <sup>3</sup> )
29	72	150	0,0108
30	72	236	0,016992
31	72	150	0,0108
32	72	236	0,016992
33	72	150	0,0108
34	72	236	0,016992
35	72	150	0,0108
36	96	243	0,023328
37	72	150	0,0108
38	96	243	0,023328
39	72	150	0,0108
40	72	236	0,016992
41	72	150	0,0108
42	72	236	0,016992
43	72	150	0,0108
44	72	236	0,016992
45	72	150	0,0108
46	72	236	0,016992
47	72	150	0,0108
48	72	236	0,016992
49	72	150	0,0108
<b>Total</b>			<b>1,34</b>

Fonte: autor

Tabela 28 - Volume total de madeira para a viga de seção retangular de MLC

Viga de seção retangular de MLC			
Barra	Ax (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	V (m <sup>3</sup> )
1	600	210	0,126
2	600	210	0,126
3	600	210	0,126
4	600	210	0,126
5	600	210	0,126
6	600	219,3	0,13158
7	600	219,3	0,13158
8	600	210	0,126
9	600	210	0,126
10	600	210	0,126
11	600	210	0,126
12	600	210	0,126
<b>Total</b>			<b>1,52</b>

Fonte: autor

Tabela 29 - Volume total de madeira para a Viga de seção I de MLC

Viga de seção I de MLC			
Barra	Ax (cm <sup>2</sup> )	L ( cm)	V (m <sup>3</sup> )
1	372	210	0,07812
2	372	210	0,07812
3	372	210	0,07812
4	372	210	0,07812
5	372	210	0,07812
6	372	219,3	0,08158
7	372	219,3	0,08158
8	372	210	0,07812
9	372	210	0,07812
10	372	210	0,07812
11	372	210	0,07812
12	372	210	0,07812
Total			0,94

Fonte: autor

Através dos resultados obtidos, quando comparados os volumes totais de cada estrutura deste estudo, pôde-se observar que a estrutura da Viga de seção I de MLC foi a que apresentou menor consumo de madeira seguindo os parâmetros da ABNT NBR 7190:1997, seguida pela estrutura da Treliça de banzos paralelos Howe, a Viga de seção retangular e a Treliça triangular Howe. Analisando os quatro resultados finais, é verificado que o volume de material da Viga de seção I é muito menor que o volume das outras três estruturas, chegando a uma diferença de 0,61 m<sup>3</sup> de madeira com a menos vantajosa das opções de sistema estrutural.

## 5 CONCLUSÃO

Com este trabalho, para a construção a ser projetada, considerando o volume de madeira como parâmetro de análise final, pôde-se concluir que a Viga de seção I foi a que obteve melhores resultados, se comparada com as Treliças e a Viga de seção retangular de MLC. Era de se esperar que a estrutura da Viga de seção I tivesse um comportamento estrutural superior em relação às outras, devido a estrutura apresentar um melhor aproveitamento da área da seção para absorver os esforços de flexo-compressão e flexo-tração provocados na estrutura.

Apesar da Viga de seção I ser a que teve menor gasto de materiais, atendendo aos parâmetros de resistência e estabilidade, é preciso aprofundar os estudos para a respectiva seção utilizando a

Madeira Laminada Colada como seu componente estrutural, pois para este trabalho foi considerado a estrutura de seção I como teórica. Para a esta seção, deve ser verificado o comportamento da estrutura em alguns pontos específicos, como a condição da união da mesa com a alma. Outro ponto que poderá ser abordado para o estudo da Viga de seção I é a variação de sua seção ao longo do comprimento da viga, o que diminuiria ainda mais o consumo de madeira.

O custo final dos materiais não foi estimado, tendo neste trabalho somente a preocupação em verificar o quantitativo de materiais. Para outros estudos, poderão ser calculados os custos de materiais e mão de obra gastos, se atentando bem para o material definido como MLC, pois este ainda não tem um uso amplo no Brasil que permita definir os seus custos para o seu uso como componente estrutural e comercial.

## REFERÊNCIAS

AECWEB. Madeira laminada colada vence grandes vãos e permite estruturas curvas. Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/madeira-laminada-colada-vence-grandes-vaos-e-permite-estruturas-curvas\\_15174\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/madeira-laminada-colada-vence-grandes-vaos-e-permite-estruturas-curvas_15174_10_0). Acesso em: 10 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. Disponível em: [http://www.professormendoncaenf.com.br/crr\\_nbr\\_6123\\_forcasvento.pdf](http://www.professormendoncaenf.com.br/crr_nbr_6123_forcasvento.pdf). Acesso em: 10 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. Disponível em: [http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_downloads/fot\\_10544nby\\_-\\_7190\\_-\\_pbojeto\\_de\\_estbutubas\\_de\\_madeiba\\_pdf.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_10544nby_-_7190_-_pbojeto_de_estbutubas_de_madeiba_pdf.pdf). Acesso em: 10 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. ABNT/CB-002 PROJETO DE REVISÃO ABNT NBR 6120 R09 – 21/06/2017. Disponível em: [http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/NBR%206120\[2017\]%20-%20REVIS%C3%83O.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/NBR%206120[2017]%20-%20REVIS%C3%83O.pdf). Acesso em: 10 jun. 2019.

CALIL. Aplicações. Disponível em: <http://madeiralaminadacolada.com/aplicacoes.php#!prettyPhoto>. Acesso em: 10 jun. 2019.

CÂNDIDO, A. M. **Comparação entre soluções estruturais em madeira para a cobertura de um galpão industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017. DISCO RÍGIDO.

DELAQUA, V. Arquivo: estrutura de madeira. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/770631/arquivo-estrutura-de-madeira>. Acesso em: 10 jun. 2019.

GALERIA DA ARQUITETURA. Estruturas de madeira. Disponível em: <https://www.galeriadaarquitectura.com.br/projetos/referencias-ambientes-c/105/estruturas-de-madeira/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

GESUALDO, F. A. R. **Estrutura de madeira**, notas de aula da disciplina Estruturas de madeira (GCI043). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2003. Disponível em: [http://usuarios.upf.br/~zacarias/Notas\\_de\\_Aula\\_Madeiras.pdf](http://usuarios.upf.br/~zacarias/Notas_de_Aula_Madeiras.pdf). Acesso em: 10 jun. 2019.

GESUALDO, F. A. R. **Manual para uso do programa computacional GESTRUT**. Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://app.box.com/s/kfvt4r2ixxs64wgi8eh77gv7nbo8qs9n/1/25402789005>. Acesso em: 10 jun. 2019.

ISOESTE. **Catálogo de perfis estruturais**. Anápolis, 2019. Disponível em: [http://www.isoestemetalica.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Catalogo\\_perfis\\_estruturais.pdf](http://www.isoestemetalica.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Catalogo_perfis_estruturais.pdf). Acesso em: 10 jun. 2019.

METALFORTE. **Telhas termoacústicas**. Aparecida de Goiânia, 2019. Disponível em: <http://www.metalforte.com.br/wp-content/uploads/2018/06/telhas-termoacustica.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.