

**LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL**

DEYVID WILSON SILVA MIRANDA

**ESTRUTURA METÁLICA PARA COBERTURA EM TELHA CERÂMICA:
PROCEDIMENTO EXECUTIVO, ANÁLISE ESTRUTURAL E CUSTOS**

NATAL/RN

2020

DEYVID WILSON SILVA MIRANDA

**ESTRUTURA METÁLICA PARA COBERTURA EM TELHA CERÂMICA:
PROCEDIMENTO EXECUTIVO, ANÁLISE ESTRUTURAL E CUSTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Anderson Albino Ferreira

NATAL/RN

2020

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Miranda, Deyvid Wilson Silva.

Estrutura metálica para cobertura em telha cerâmica: procedimento executivo, análise estrutural e custos / Deyvid Wilson Silva Miranda. – Natal, 2020.

103 f.

Orientador: Prof. M.Sc. Anderson Albino Ferreira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Vantagens – Monografia. 2. . Dimensionamento – Monografia. 3. Comparação – Monografia. 4. Custo – Monografia. I. Ferreira, Anderson Albino. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

DEYVID WILSON SILVA MIRANDA

**ESTRUTURA METÁLICA PARA COBERTURA EM TELHA CERÂMICA:
PROCEDIMENTO EXECUTIVO, ANÁLISE ESTRUTURAL E CUSTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Anderson Albino Ferreira
Prof. Orientador

Prof. Me. Cristiano Araújo Maciel Alves
Membro Interno

Prof. Esp. Tarcísio Medeiros Lima
Membro Externo

*Dedico este trabalho à minha família, razão
de tudo que sou. A Deus.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir ter essa oportunidade.

Aos meus pais, José Wilson Miranda e Maria da Guia Silva Miranda, sabendo eu que não estaria aqui sem vocês, pelo amor incondicional. A minha noiva Ana Alice da Costa, pela ajuda e apoio incondicional, amor e zelo.

Ao meu orientador Prof. Msc. Anderson Albino Ferreira, pela grande sabedoria e paciência, obrigado.

Aos meus colegas de turma, pelo apoio.

A Luana Bezerra de Siqueira que tornou possível a realização desse trabalho.

Aos meus queridos professores, Prof. Msc. Tomás Barros de Vasconcelos e o Prof. Msc. Luiz Gonzaga Damasceno, por serem pilares motivacionais nesse meu trajeto.

Aos demais professores, familiares e amigos que contribuíram para essa minha conquista obrigado.

“O que é escrito sem esforço, em geral é lido sem prazer.”

(Samuel Johnson)

RESUMO

Com o desenvolvimento da construção civil novas técnicas e métodos têm sido aplicados, e com isso existe a necessidade de avaliar seus rendimentos e eficiência. Tais métodos têm como principal objetivo melhorar a produtividade e diminuir gastos. Um dos materiais que está sendo bastante aplicado é o aço para estruturas residenciais em substituição aos perfis em madeira.

O referido trabalho busca analisar o método utilizado por uma construtora na cidade de São Gonçalo do Amarante - RN, chamada neste trabalho pelo pseudônimo Construtora, que consiste no uso de estrutura em aço dobrado para dar suporte às telhas cerâmicas do tipo colonial comum. O trabalho busca avaliar a resposta estrutural dos perfis envolvidos com base nas normas vigentes já que a empresa Construtora não dispõe do projeto estrutural ou memorial de cálculo. Também será avaliado o custo da estrutura em aço e comparado ao valor de uma estrutura similar em madeira de acordo com os valores fornecidos na tabela Seinfra. A coleta de dados se deu por análise dos projetos, depoimentos de funcionários e também por visitas nos períodos de pré-montagem e conclusão.

Dos resultados obtidos podemos observar que os perfis envolvidos na estrutura de aço mostraram em sua maioria boa resposta estrutural, apenas o perfil relacionado ao banzo se mostrou com resistência à instabilidade lateral por torção inferior a solicitada quando verificado pela normativa NBR 14762 de 2010, sendo esse o elemento com maiores vãos destravados. Quanto ao custo, ao se comparar o valor gasto com a estrutura de aço no empreendimento ao valor de uma cobertura similar em estrutura de madeira, a cobertura em aço se mostrou mais barata, sendo essa diferença de 34,82%. Contudo a cobertura apresenta algumas dificuldades, sendo as principais a distância dos fornecedores dos perfis e a mão de obra, que de certo modo precisa ser treinada de início. Como principais vantagens tem-se o tempo de execução que leva 50% menos em relação a montagem de uma cobertura em madeira e a leveza da estrutura que diminui as solicitações e esforço.

Palavras-chave: Vantagens. Aço. Análise. Custo.

ABSTRACT

With the development of civil construction new techniques and methods have been applied, and with this there is a need to evaluate their performance and efficiency. Such methods have as main objective to improve productivity and decrease expenses. One of the materials that is being widely applied is steel for residential structures to replace wooden profiles.

The referred work seeks to analyze the method used by a construction company in the city of São Gonçalo do Amarante - RN, called in this work by the Construtora pseudonym, which consists of the use of folded steel structure to support the ceramic tiles of the common colonial type. The work seeks to evaluate the structural response of the profiles involved based on the norms in force, since the Construtora company does not have the structural project or calculation memorial. The cost of the steel structure will also be evaluated and compared to the value of a similar wooden structure according to the values provided in the Seinfra table. The data collection was done by project analysis, employee testimonies and also by visits during pre-assembly and completion periods.

From the results obtained we can observe that the profiles involved in the steel structure showed mostly good structural response, only the profile related to the banzo showed resistance to lateral instability by torsion lower than requested when verified by the NBR 14762 of 2010 standard, this being the element with the largest gaps unlocked. As for the cost, when comparing the value spent with the steel structure in the enterprise to the value of a similar wooden structure cover, the steel cover proved to be cheaper, this difference being 34,82%. However, the coverage presents some difficulties, being the main ones the distance of the suppliers of the profiles and the labor, which in a certain way needs to be trained at the beginning. The main advantages are the execution time that takes 50% less in relation to the assembly of a roof in wood and the lightness of the structure that decreases the requests and effort.

Keywords: Advantages. Steel. Analyze. Cost.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Condição de verificação por norma	35
Equação 2 - Combinação normal para o ELU	36
Equação 3 – Combinação especial para ELU	36
Equação 4 – Combinação excepcionais para ELU.....	37
Equação 5 – Combinações quase permanentes ELS	37
Equação 6 – Combinações frequentes para ELS.....	38
Equação 7 – Combinações raras para ELS.....	38
Equação 8 – Verificação de esbeltez para tração	38
Equação 9 – Condição de verificação para tração por norma	39
Equação 10 – Escoamento da seção bruta.....	39
Equação 11 – Ruptura da seção líquida fora da região da ligação	39
Equação 12 – Ruptura da seção líquida na região da ligação.....	41
Equação 13 – Verificação de esbeltez para compressão	41
Equação 14 – Condição de verificação para compressão por norma	41
Equação 15 – Esforço normal resiste de cálculo à compressão	41
Equação 16 – Índice de esbeltez reduzido associado a flambagem global	43
Equação 17 – Início do escoamento da seção efetiva	44
Equação 18 – Flambagem lateral por torção.....	44
Equação 19 – Índice de esbeltez reduzido associado a FLT.....	45
Equação 20 – Índice de esbeltez reduzido do elemento associado ao $W_{c,ef}$	45
Equação 21 – Flambagem distorcional.....	45
Equação 22 – Índice de esbeltez reduzido do elemento associado a flambagem distorcional	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cobertura metálica em galpão	18
Figura 2 - Cobertura metálica residencial com telha metálica	18
Figura 3 - Estrutura metálica com telha cerâmica	19
Figura 4 - Abrigo primitivo de pedra e palha.....	22
Figura 5 – Moradias indígenas Brasileiras.....	23
Figura 6 - Arquitetura colonial em Santo Ignácio-BA.....	23
Figura 7 - Tipos de telhados empregados na construção civil.....	24
Figura 8 - Elementos geométricos e características das coberturas	25
Figura 9 - Tipos de telhas	25
Figura 10 - Representação da estrutura de uma cobertura de madeira	27
Figura 11 - Galpão metálico	29
Figura 12 - Modelo de Cobertura de madeira.....	31
Figura 13 - Modelo de estrutura metálica	32
Figura 14 - Modelo de detalhamento de treliça metálica	33
Figura 15 - Elementos componentes de perfis formados a frio	35
Figura 16 - Seções de uma peça metálica	38
Figura 17 - Modelo digital da estrutura de aço em análise	49
Figura 18 - Colocação das linhas estruturais.....	50
Figura 19 - Diagonais e U estruturais vinculados a alvenaria.....	50
Figura 20 - Diagonais vinculadas a alvenaria	51
Figura 21 - Modelo digital do painel ripado 01 com queda de água para a fachada do empreendimento	52
Figura 22 - Modelo digital do painel ripado 02, com queda de água para os fundos do empreendimento	53
Figura 23 - Montagem dos banzos no gabarito	53

Figura 24 - Processo de fixação dos elementos de ripa nos banzos.....	54
Figura 25 - Detalhe do parafuso de fixação da ripa no banzo	54
Figura 26 - Painéis ripados prontos para serem erguidos	55
Figura 27 - Modelo digital da estrutura em aço finalizada	56
Figura 28 - Fachada, empreendimento concluído	56
Figura 29 - Geometria do empreendimento.....	58
Figura 30 - Velocidade do vento pelo gráfico de isopletas	59
Figura 31 - Resultados obtidos no software VisualVentos.....	60
Figura 32 - Modelo digital no Ftool do elemento de Ripa	62
Figura 33 - Modelo digital no Ftool do elemento de Banzo (caibro)	62
Figura 34 - Modelo digital no Ftool do elemento de Linha estrutural 01	63
Figura 35 - Modelo digital no Ftool do elemento de Linha estrutural 02	63
Figura 36 - Modelo digital no Ftool do elemento de Linha estrutural 03	63
Figura 37 - Tabela de valores máximos para deslocamento por vão destravado.....	67
Figura 38 - Deslocamento máximo elemento Banzo	68
Figura 39 – Deslocamento máximo elemento de ripa	68
Figura 40 - Deslocamento máximo elemento de Linha estrutural.....	69

LISTA DE SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ELU** – Estados Limites Últimos
- ELS** – Estados Limites de Serviço
- A** – área bruta da seção transversal da barra
- A_{ef}** – área efetiva da seção transversal da barra
- A_{gv}** – área bruta sujeita a cisalhamento na verificação do colapso por rasgamento
- A_n** – área líquida da seção transversal da barra na região da ligação
- A_{n0}** – área líquida da seção transversal da barra fora da região da ligação
- A_{nt}** – área líquida sujeita à tração na verificação do colapso por rasgamento
- A_{nv}** – área líquida sujeita a cisalhamento na verificação do colapso por rasgamento
- A_b** – área bruta da seção transversal do parafuso
- A_s** – área da seção transversal do enrijecedor de alma
- B_c** – parâmetro empregado no cálculo da resistência ao escoamento da região das dobras f_{yc}
- C** – Parâmetro empregado no cálculo da resistência ao escoamento modificada f_{ya}
- C_b** – fator de modificação para diagrama de momento fletor não uniforme
- C_m** – fator empregado no cálculo do momento fletor de flambagem global elástica conforme Anexo E
- C_p** – fator de correção
- C_s** – fator empregado no cálculo do momento fletor de flambagem global elástica conforme Anexo E
- C_t** – coeficiente de redução usado no cálculo da área líquida efetiva
- C_w** – constante de empenamento da seção transversal
- D** – Largura nominal do enrijecedor de borda
- E** – Módulo de elasticidade do aço, adotado igual a 200 000 MPa
- F** – Força, valor de ação, em geral
- F_{G,k}** – valor característico da ação permanente
- F_{Q,k}** – valor característico da ação variável
- F_{Q,exc}** – valor da ação transitória excepcional
- F_{Rd}** – força resistente de cálculo, em geral
- L** – Comprimento destravado

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Inclinação para telhas Cerâmicas.....	26
Tabela 2 - Telhas por metro quadrado.....	26
Tabela 3 - Valores máximos da relação largura-espessura.....	33
Tabela 4 - Detalhamento elementos de suporte	51
Tabela 5 - Detalhamento dos elementos que compõem os painéis ripados.....	55
Tabela 6 - Verificação da relação comprimento sobre espessura	58
Tabela 7 – Valores dos pesos por elemento.....	60
Tabela 8 – Valores máximos obtidos nas combições	61
Tabela 9 - Valores máximos de solicitação para cada elemento em análise obtidos pelo F_{tool}	63
Tabela 10 - Valores e verificação para elemento ripa.....	65
Tabela 11 - Valores e verificação para elemento banzo	65
Tabela 12 - Valores e verificação para elemento Linha estrutural	65
Tabela 13 - Valores e verificação para elemento mão francesas	66
Tabela 14 - Valores e verificação para elemento diagonais.....	66
Tabela 15 - Tabela Seinfra item C1336 de composição do custo para uma cobertura em madeira	72
Tabela 16 - Valores de χ em função do índice de esbeltez reduzido λ_0	86
Tabela 17 - Valores do coeficiente de flambagem local k_l para barras sob compressão centrada	87
Tabela 18 - Valores do coeficiente de flambagem local k_l da seção completa.....	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 JUSTIFICATIVA	20
4 METODOLOGIA	20
4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS	21
4.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS	21
5 REFERÊNCIAL TEÓRICO	22
5.1 COBERTURAS	22
5.2 DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA	24
5.2.1 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS E CARACTERÍSTICOS DAS COBERTURAS	24
5.2.2 TIPOS DE TELHAS	25
5.2.3 COBERTURA EM MADEIRA	27
5.2.4 COBERTURA METÁLICA	28
5.3 AÇO E PERFIS A FRIO	29
5.3.1 AÇO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	29
5.3.2 PERFIS FORMADOS A FRIO	30
5.4 PROJETO DE COBERTURA	31
5.4.1 ANTEPROJETO	31
5.4.2 CÁLCULO ESTRUTURAL	32
5.4.3 DETALHAMENTO	32
5.5 DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA METÁLICA	33
5.5.1 VERIFICAÇÃO DA GEOMETRIA POR NORMA PARA PERFIS A FRIO E CLASSIFICAÇÃO DE PERFIS AA e AL	33
5.5.2 COMBINAÇÃO DE AÇÕES ELU	35
5.5.3 COMBINAÇÃO DE AÇÕES ELS	37
5.5.4 DIMENSIONAMENTO A TRAÇÃO	38
5.5.5. DIMENSIONAMENTO A COMPRESSÃO	40
5.5.5.1 DIMENSIONAMENTO A FLAMBAGEM	40
5.5.6 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES	43
5.5.7 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO COMPOSTA	46
5.5.8 DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO	46
6 ESTUDO DE CASO	47
6.1 PROCESSO EXECUTIVO – MONTAGENS DA ARMAÇÃO DA COBERTURA ..	48
6.2 ANÁLISE ESTRUTURAL	57
6.2.1 VERIFICAÇÃO LARGURA ESPESSURA POR NORMA	57
6.2.2 COMBINAÇÕES DE AÇÕES E SOLICITAÇÕES	58
6.2.3 RESISTÊNCIAS	64
6.2.4 ANALISE DE DESLOCAMENTO MÁXIMO	66
6.2.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	69

6.3. ANÁLISE DO CUSTO E COMPARATIVO.....	71
6.3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS	74
7 CONCLUSÃO	75
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICE A – CÁLCULOS DE COMBINAÇÕES	81
APÊNDICE B – GRÁFICOS E SOLICITAÇÕES OBTIDOS PELO FTOOL	82
APÊNDICE C – CÁLCULOS DE RESISTÊNCIAS PARA PERFIL UE 50X25X10X1,5	86
APÊNDICE D – CÁLCULOS DE RESISTÊNCIAS PARA PERFIL UI 30X20X10X0,95	92
APENDICE E – CÁLCULO DO PERFIL SOLUÇÃO PARA BANZO (CAIBRO) UE 50X20X10X2,65	96
ANEXO 1 – TABELA DE CARGA CRITICA	98
ANEXO 2 – VALORES DE χ EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ESBELTEZ REDUZIDO Λ_0	99
ANEXO 3 - VALORES DO COEFICIENTE DE FLAMBAGEM LOCAL KL PARA BARRAS SOB COMPRESSÃO CENTRADA.....	101
ANEXO 4 - VALORES DO COEFICIENTE DE FLAMBAGEM LOCAL KL DA SEÇÃO COMPLETA.....	102
ANEXO 5 – VALORES OBTIDOS PELO VISUALVENTOS.....	103

1 INTRODUÇÃO

No início do desenvolvimento humano, as coberturas artificiais surgiram com o intuito único, de proteger as pessoas, bem como os seus suprimentos das intempéries (TURMANL, 2013).

A cobertura pode ser definida como sendo a parte superior da construção composta por diversos elementos, sendo eles: telhas e estruturas para sustentação, responsáveis por manter a estabilidade do conjunto e, em alguns casos, sistema de captação de águas pluviais ou geração de energia (CALIL JUNIOR; MOLINA, 2010). Entre os fatores para escolha da cobertura, atualmente se tem dado bastante importância aos sistemas que menos causam danos ao meio ambiente, buscado preservar o mesmo.

Com o surgimento e desenvolvimento de novos materiais e técnicas, a construção civil tem evoluído constantemente, sempre buscando diminuir o tempo de execução, custo e dano ambiental, através da utilização de materiais cada vez mais eficientes para execução de coberturas (TURMANL, 2013). Um dos materiais que apresentam tais características para coberturas são as ligas metálicas. Os perfis metálicos pré-fabricados proporcionam uma agilidade na montagem, além de serem esbeltos e leves, comparados aos usuais em madeira. Os metais são basicamente, elementos químicos encontrados nos minérios, haja vista que os mesmos possuem características específicas, conforme segue:

- ✓ **Tenacidade:** capacidade que os metais possuem de absorver energia, se deformando até atingir a ruptura. Os materiais capazes de absorver uma quantidade elevada de energia são ditos tenazes;

- ✓ **Ductilidade:** é a característica dada ao elemento que é maleável, podendo apresentar a habilidade de ser muito comprimido ou sofrer grande redução por tração, não atingindo a ruptura.

Segundo Fulco et al. (2001) não é comum o uso puro dos metais, principalmente na construção civil e em especial nas estruturas de coberturas. Pelas características que certos metais adquirem quando misturados com outros metais, ou até mesmo com não metais, como é o caso do carbono, essas misturas recebem o

nome de ligas, tendo a principal finalidade de evidenciar ou criar características, como ganho de resistência, maior dificuldade de oxidação, melhor trabalhabilidade entre outras. Na construção civil, o uso de ligas metálicas de ferro e carbono é comum, tal mistura é conhecida como aço, a mesma apresenta um ganho elevado de resistência entre outras características. Os aços utilizados contêm de 0,5 a 1,7% de carbono.

Existem diversas finalidades para o uso de ligas metálicas, a mais comum é o uso para coberturas, isso porque coberturas metálicas são elementos estruturais que visam produzir grandes vãos, sendo as suas características de leveza e alta resistência, atrativos para o uso (FONTENELE, 2006). Podemos citar como exemplos, as coberturas metálicas de galpões (Figura 01), coberturas residenciais com telha metálica (Figura 02) e a estrutura em análise do trabalho que é a cobertura em telha cerâmica colonial com estrutura metálica (Figura 03).

Figura 1 – Cobertura metálica em galpão



Fonte: Site Água do Brasil (2019).

Figura 2 - Cobertura metálica residencial com telha metálica



Fonte: Site Serralheria Casa das Artes (2019).

Figura 3 - Estrutura metálica com telha cerâmica



Fonte: O autor (2019).

O referido trabalho é um estudo de caso, que busca analisar o método construtivo aplicado na produção de estruturas metálicas para coberturas em telha cerâmica do tipo colonial, na cidade de São Gonçalo do Amarante – Rio Grande do Norte, executada pela empresa Construtora, que optou por utilizar o método com o principal intuito de reduzir o tempo de produção e dano ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo analisar o uso de coberturas em telha cerâmica com estrutura metálica adotada pela empresa Construtora, bem como mostrar de forma analítica a viabilidade econômica do uso, a fim de explicitar vantagens e desvantagens em relação ao método convencional de cobertura em madeira.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Apresentar de forma detalhada os procedimentos adotados pela empresa Construtora para execução da cobertura com estrutura metálica;
- b. Realizar análise comparativa de custos da cobertura com estrutura metálica e em madeira, levando em conta a região geográfica de execução;

- c. Avaliar o dimensionamento estrutural da estrutura em aço para a cobertura com telha cerâmica, obedecendo aos critérios normativos: ABNT NBR 6123 (2014) – Forças devidas ao vento em edificações, ABNT NBR 14762 (2010) - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio e a ABNT NBR 6355 (2012) - Perfis estruturais de aço formados a frio.

3 JUSTIFICATIVA

Segundo Candido e Abreu (2002) o desenvolvimento tecnológico vem diretamente para sanar um problema, reduzir gastos desnecessários de energia, tempo e dinheiro. A competitividade econômica incentiva a busca e desenvolvimento de novas tecnologias que tornem o processo construtivo mais rápido e de menor custo. Assim a utilização de novos métodos sempre será testada e comparada com técnicas tradicionais usadas. Contudo, na busca do desenvolvimento, deve-se sempre se manter a preocupação com a preservação ambiental, sendo muitas vezes a própria preocupação um dos elementos instigadores pela busca.

De acordo com Rabelo (2019) a degradação do meio ambiente teve sua maior incidência no século XIX com a Revolução Industrial, e desencadeou a chamada crise ambiental, representada pela escassez dos recursos naturais e pelas catástrofes a nível planetário, caracterizando verdadeira contraposição entre o desenvolvimento e a preservação do equilíbrio ecológico.

Importante inferir, que é notório que há necessidade de preservar o meio ambiente frente os demasiados impactos ambientais que a sociedade vem sofrendo. Logo, a análise desse método construtivo justifica-se pelo incentivo na busca de novas tecnologias e técnicas que causem menor dano ao ecossistema. Também em relação aos aspectos econômicos, a busca de materiais que proporcionem maior agilidade na execução e menor custo quando comparado aos métodos convencionais é de grande importância para o desenvolvimento da construção civil.

4 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado foi do tipo estudo de caso. Com a finalidade de manter o sigilo tanto da empresa que está executando a estrutura, quanto a

fornecedora dos perfis e materiais, a mesma será identificada como “Construtora”, e a fornecedora como Empresa AA.

Nesse estudo de caso foram levantados dados através de visita técnica, análise dos projetos de paginação, arquitetônico e montagem, também por meio de depoimentos dos funcionários se obteve dados acerca dos procedimentos de execução, produtividade e dificuldades quanto a execução da estrutura. Posteriormente, a cobertura será modelada em software onde será analisada sua resposta estrutural e segurança, levando em conta as normativas sobre a mesma.

No que tange o comparativo custo, foi solicitado o orçamento da estrutura para Empresa AA fornecedora do material, a mesma forneceu o valor total para a produção de uma cobertura, não incluindo valor de transporte nem mão de obra, valor esse que será comparado ao custo médio de uma cobertura em madeira, obtido pela tabela Seinfra V 026.

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

O método de coleta de dados foi através de visita ao empreendimento, nos estágios de planejamento, pré-montagem e execução da estrutura metálica. Coleta de depoimentos dos funcionários envolvidos e do engenheiro responsável, análise de fotos e dados coletados anteriormente pela equipe de produção da empresa, custo do material utilizado, análise dos projetos de paginação, montagem e arquitetônico.

Para análise e comparação do custo da cobertura em estudo foi utilizado dados fornecidos pela tabela Seinfra V026 acerca de coberturas em madeira para vão de até 7 metros, se limitando a área construída da estrutura em análise, assim obtendo dados mais aproximados. As resistências dos perfis as solicitações foram feitas de forma manual com base nas normativas vigentes.

Foi utilizado as normas: ABNT NBR 6123 (2014) – forças devidas ao vento em edificações, ABNT NBR **14762** (2010) - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, ABNT NBR **6355 (2012)** - Perfis estruturais de aço formados a frio. Usadas para analisar se os perfis utilizados pela Construtora atendam os limites normatizados.

4.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS

1. Software de análise estrutural Ftool v 4.00.04 basic: Sendo esse um programa gráfico-interativo de análise de comportamento estrutural;
2. Software de dimensionamento de carregamentos produzidas pelo vento, Visual Ventos Versão 2.0.2 - Julho 2008;
3. Para produção dos gráficos utilizou-se o software Excel 2016.

5 REFERÊNCIAL TEÓRICO

5.1 COBERTURAS

Na visão de Araujo (2003) a origem do nome telhado provém do uso das telhas nas coberturas, contudo nem todo sistema de proteção superior de uma edificação, obrigatoriamente, constitui-se num telhado, por exemplo, lajes, terraços e jardins suspensos.

Segundo Calil Junior e Molina (2010), a cobertura tem por principal função proteger a edificação e suas áreas internas das intempéries (chuva, neve, poeira, sol, ventos, temperaturas extremas). Pode-se dizer ainda, que essas características fundamentais para cobertura viabilizam a impermeabilidade o desempenho estrutural, térmico e acústico, a funcionalidade, as condições de durabilidade e possibilidade de manutenção.

Nos primórdios da humanidade, as coberturas em sua maioria eram simples, geralmente naturais, e os que não eram, se apresentavam como estruturas em madeira e palhas, com a simples intenção de proteger as pessoas e seus suprimentos (Figura 4). (SAVI, 2012).

Figura 4 - Abrigo primitivo de pedra e palha



Fonte: Site Picasa (2012).

No Brasil, as primeiras coberturas foram as utilizadas pelos índios locais com uso de palha, fibra vegetal e troncos de árvores, como podemos ver na Figura 5. Contudo, com a chegada dos portugueses, houve a implantação do método construtivo e arquitetônico dos colonizadores, essas utilizando materiais como pedras, cal ou taipa de pilão, e cobertura com estrutura em madeira e uso de telhado cerâmico, Figura 6. A partir do século XIX ocorreu a importação de telhas industrializadas da França, essas chamadas de “telhas francesa” ou “marselhesa” (LA PASTINA, 2005).

Figura 5 - Moradias indígenas Brasileiras



Fonte: Arruda (1994).

Figura 6 - Arquitetura colonial em Santo Ignácio-BA



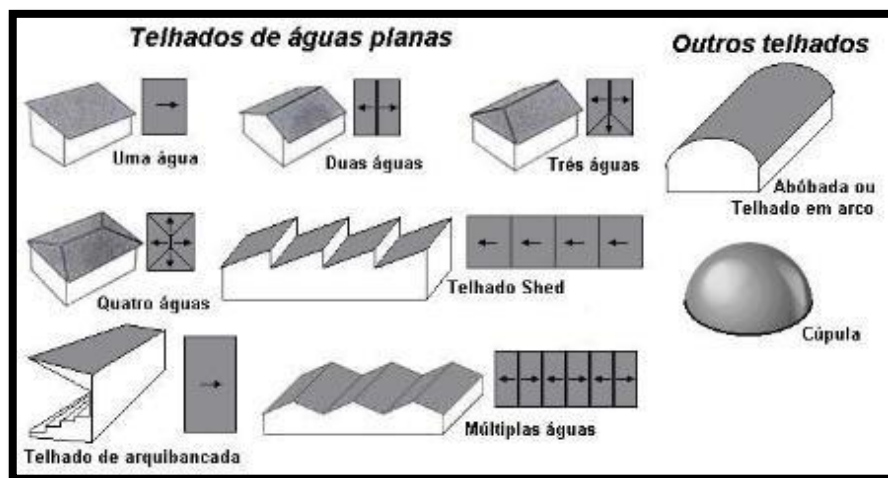
Fonte: Zanur, (2007).

5.2 DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA

5.2.1 Elementos Geométricos e Característicos das Coberturas

As denominações de alguns tipos de coberturas são vinculadas ao número de planos para escoamentos de águas pluviais (águas do telhado), podemos ver as ilustrações de alguns modelos de águas de telhado na Figura 07 (LOGSDON, 2002).

Figura 7 - Tipos de telhados empregados na construção civil



Fonte: Logsdon, Arquitetura e Engenharia, (2002).

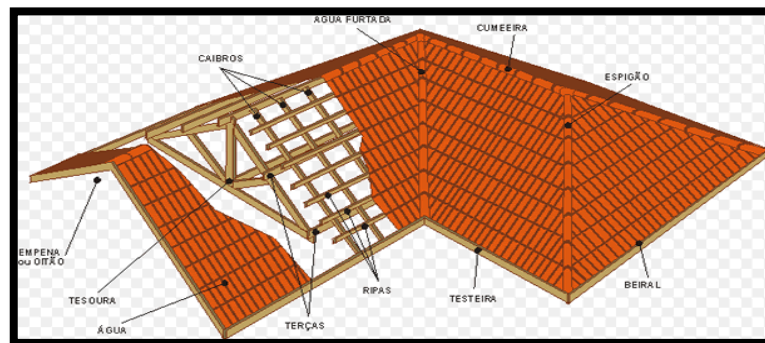
Segundo Logsdon (2002), as coberturas são compostas por um conjunto de elementos geométricos que dão forma a estrutura. Sua escolha se dá em função do modelo escolhido, região, conforto térmico e acústico, solicitações que irão incidir sobre a mesma, entre outras, seus principais elementos são:

- ✓ **Inclinação** - é a relação de comprimento e altura, dos fatores que lhe determinam temos as solicitações, acústica, conforto e tipo de telha utilizada;
- ✓ **Cumeeira** - sendo o encontro das duas águas principais da cobertura, está ligada diretamente a inclinação;
- ✓ **Espigão** - aresta saliente formada pelo encontro de águas de cobertura;
- ✓ **Rincão** - aresta que surge no sentido contrário ao espigão, no encontro entre duas águas;

- ✓ **Oitão** - são paredes paralelas as tesouras, usadas como apoio;
- ✓ **Beiral** - parte que se prolonga da cobertura, sobressaindo do alinhamento da parede.

A figura a seguir (Figura 8) deixa mais claro os elementos acima citados.

Figura 8 – Elementos geométricos e características das coberturas



Fonte: Site Arquitetura Papaxibe, (2011).

5.2.2 Tipos de Telhas

As telhas são elementos mais aparentes na parte superior da cobertura, existem telhas de diferentes materiais, como cerâmica, fibrocimento, aço e madeira entre outras (Figuras 9).

Figura 9 - Tipos de telhas



Fonte: Rossi, Fabrício, (2019).

As mesmas tem que apresentar certo nível de estanqueidade (dificuldade que a água tem de ultrapassar o material), resistência, e isolamento térmico. Utilizadas em forma de escamas sobrepostas apoiadas na maioria em ripas ou terças em coberturas de aço (MOLITERNO, 2010).

Para garantir o escoamento de água sem problemas com infiltrações, as telhas devem ser instaladas de modo a atender suas especificações de acordo com o tipo. Cada tipo possui a inclinação máxima e mínima para que seja instalada (Tabela 01).

Tabela 1 - Inclinação para telhas Cerâmicas

Modelo de telha	Inclinação mínima %	Inclinação máxima %
Paulista	20	25
Colonial	20	30
Portuguesa	30	45
Plan	20	30
Romana	30	45
Francesa	32	40

Fonte: Calil Junior; Molina. Coberturas em estruturas de madeira, (2010). ADAPTADO.

Pode-se estimar ainda a quantidade de telhas por metro quadrado de acordo com o modelo de telha (Tabela 02).

Tabela 2 - Telhas por metro quadrado

Telha	Telha/m ²
Paulista	28
Colonial	17
Portuguesa	16
Plan	26
Romana	17
Francesa	18

Fonte: Calil Junior; Molina. Coberturas em estruturas de madeira, (2010). ADAPTADO

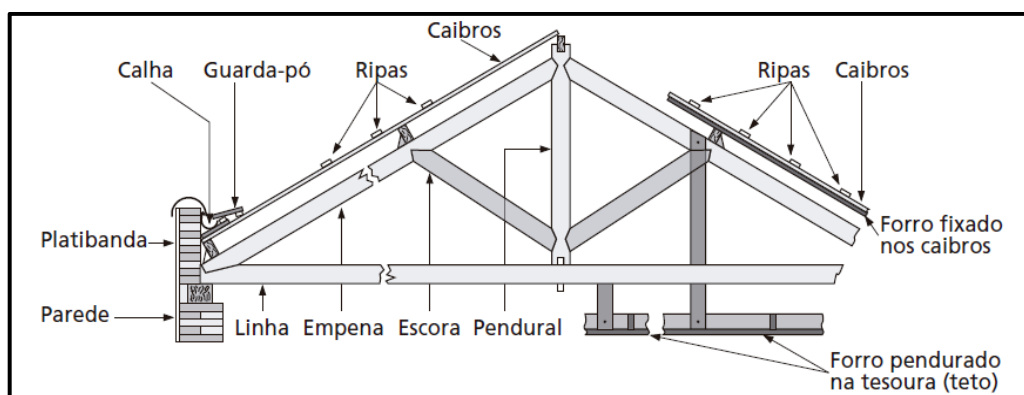
5.2.3 Cobertura em Madeira

Sendo o sistema mais antigo de coberturas, ainda hoje é um dos mais utilizados na construção civil, atualmente dominando o mercado de coberturas em residências unifamiliares, por se tratar de um material naturalmente resistente, leve e de fácil obtenção (GUERRA, 2010).

Segundo Moliterno, (2010) as estruturas de coberturas em madeira normalmente são compostas por diferentes elementos, sendo eles:

- ✓ **Ripas** – Elementos esses de pequena esquadria fixadas aos caibros por pregos, tendo a função de sustentação das telhas;
- ✓ **Caibros** – Elemento de madeira de pequena esquadria, contudo maior que a da ripa, fixados as terças, responsável por sustentar ripas e elementos sobre elas;
- ✓ **Terças** – Também conhecidas como vigas, esses elementos em madeira são os que têm maiores comprimentos na maioria dos casos, apoiados sobre as treliças ou paredes, tem função de sustentar os caibros;
- ✓ **Treliça** – Elemento em madeira, composto por linha, empena, escora e pendural (Figura 10), tem a função de resistir aos esforços de toda cobertura e transmitir aos apoios da estrutura.

Figura 10 - Representação da estrutura de uma cobertura de madeira



Fonte: Moliterno, **Caderno de Projetos de Telhados Em Estruturas de Madeira**, (2010).

Segundo Guerra (2010), as coberturas em madeira têm como características favoráveis;

1. A facilidade da obtenção da madeira, já que a mesma provém da natureza e exige baixa energia quanto seu preparo para utilização, envolvendo corte e transporte;
2. Propriedades físicas e mecânicas que proporcionam uma boa resistência à tração e compressão;
3. Conforto térmico, por ser um isolante térmico e acústico bastante eficaz, sendo a sua utilização para esses fins bastante comum na construção civil;
4. Ser atrativa esteticamente, a aparência que a madeira proporciona principalmente depois de trabalhada gera um atrativo estético, em sua maioria se faz uso de cobertura protetora transparente como verniz evidenciando essa característica.

Em contra partida temos problemas relacionados com o uso da madeira, tais problemas devem ser previstos, problemas como:

1. Defeitos das peças providas da própria árvore (desalinhamento das fibras, local de saída de galhos, fissuras internas) ou artificiais providas do corte, manuseio ou armazenamento;
2. Vulnerabilidade ao fogo e a organismos biológicos, sendo material orgânica a sua decomposição é um problema grave, pois exige manuseio e cuidados corriqueiros dos elementos, com a utilização de produtos que protejam das intempéries e agressores biológicos;
3. Decomposição acelerada e perda de grande parte das propriedades mecânicas quando submetida a água ou alta umidade do ambiente;
4. A mudança na orientação das fibras ocasiona uma alteração significativa na resistência da madeira, tanto a tração quanto a compressão.

5.2.4 Cobertura Metálica

Com a evolução tecnológica dos materiais, o aço ganhou espaço como tecnologia construtiva a partir do século XVII, (DIAS, 2001). No Brasil, a utilização de

estruturas metálicas em edificações iniciou-se na segunda metade do século XIX, com o uso do ferro fundido, e expandiu-se até os dias de hoje, com o uso do aço.

O uso de sistemas estruturais de cobertura em aço proporciona maior agilidade e industrialização do processo construtivo quando comparado a outros sistemas, além de ser um material com excelente resistência mecânica, na sua maioria usam perfis esbeltos permitindo a construção de grandes vãos livres. Apesar disso, necessita de tratamento e cuidados especiais no que diz respeito a corrosão, apresenta alta influência da temperatura no comportamento mecânico, baixo isolamento acústico e térmico (BELLEI, 2008). As estruturas de aço normalmente são encontradas em grandes indústrias e galpões (Figura 11), mas vem ganhando muito espaço na utilização em construções de pequeno e médio porte, devido a sua rapidez de execução.

Figura 11 - Galpão metálico



Fonte: Site Procomet, (2017).

5.3 AÇO E PERFIS A FRIO

5.3.1 Aço da Construção Civil

Os aços são formados da mistura do ferro com carbono, formando uma liga metálica, podendo ter outros materiais como enxofre e manganês, o elevado teor de carbono proporciona maior resistência ao aço, contudo o tornando mais frágil quando submetido a impactos, o teor de carbono pode variar entre 0% a 1,7% (PFEIL, 2000).

5.3.2 Perfis Formados a Frio

No Brasil, o emprego dos perfis de aço formados a frio iniciou-se por volta da década de 60, época em que algumas empresas buscaram novos equipamentos para a realização de processos de dobramentos a frio (MALITE et al., 1998). No entanto, a maior divulgação do uso desses perfis se deu a partir da publicação da NBR 14762 (ABNT 2010).

Os perfis estruturais formados a frio (PFF) também conhecidos como perfis de chapas dobradas ou ainda, perfis leves, estão sendo utilizados de forma crescente na execução de estruturas metálicas. Possuem vantagens como a leveza, facilidade de fabricação, facilidade de manuseio, facilidade de transporte, resistência e ductibilidade adequada ao uso de estruturas e, sobretudo, facilidade de associação a outros materiais, como a madeira por exemplo.

A fabricação se dá por dois métodos, sendo eles:

- O contínuo, que consiste em no deslocamento longitudinal de uma chapa de aço, sobre os roletes de uma linha de perfilação. Os roletes vão gradativamente conferindo a forma definitiva do perfil. Após o término os perfis são cortados com o comprimento de projeto, método mais usual para produções de grandes quantidades;
- O método descontínuo, é com a utilização de uma prensa dobradeira, a mesma dando forma aos perfis. Método de produção indicado para menores quantidades, já que as prensas apresentam limite de comprimento para dobra.

A ideia principal na escolha PFF para composição de cobertura metálica está na simplicidade da sua produção, uma vez que podem ser obtidos a partir da dobragem a frio (em temperatura ambiente) das chapas. Não obstante, ainda apresenta a possibilidade de se treinar uma mão de obra para execução das estruturas ao alcance, não somente das grandes construtoras, mas também do pequeno empreendedor.

As propriedades mecânicas dos perfis de aço formados a frio não são as mesmas das chapas de aço antes do dobramento (aço virgem), tendo em vista que a operação de conformação a frio eleva a resistência ao escoamento do aço, a

resistência à ruptura do aço na tração, e diminui a ductilidade (SILVA; PIERIN; SILVA, 2014).

5.4 PROJETO DE COBERTURA

Projetos estruturais objetivam desempenhar suas funções de modo a atender com segurança e eficiência aos requisitos considerados.

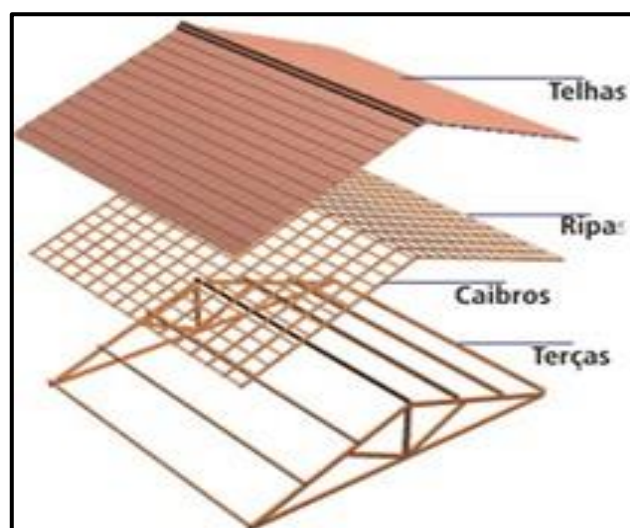
As normativas que regem os cálculos de dimensionamento, podem ou não ser iguais quando se trata do tipo de telhado utilizado. O projeto estrutural é dividido em etapas, sendo elas:

5.4.1 Anteprojeto

O anteprojeto faz-se importante para definir o modelo da estrutura, os materiais a serem usados e os métodos construtivos. Este, torna-se a base para o dimensionamento e planejamento do projeto.

A definição do modelo da cobertura é fundamental nessa etapa do projeto, já se deve ter predefinido a direção em relação ao vento, o tipo de material da estrutura e telha a ser utilizada bem como a locação do empreendimento e sua finalidade de uso (Figuras 12 e 13).

Figura 12 – Modelo de Cobertura de madeira



Fonte: Site Passei Direto, (2018).

Figura 13 - Modelo de estrutura metálica



Fonte: Site Mil Cores Pinturas, (2019).

Os elementos tem seus espaçamentos pré-definidos nessa etapa do projeto, sendo essas dimensões importantes para o cálculo de carregamento, pois fornece a área de influência de cada elemento, segundo Calil Junior e Molina (2010).

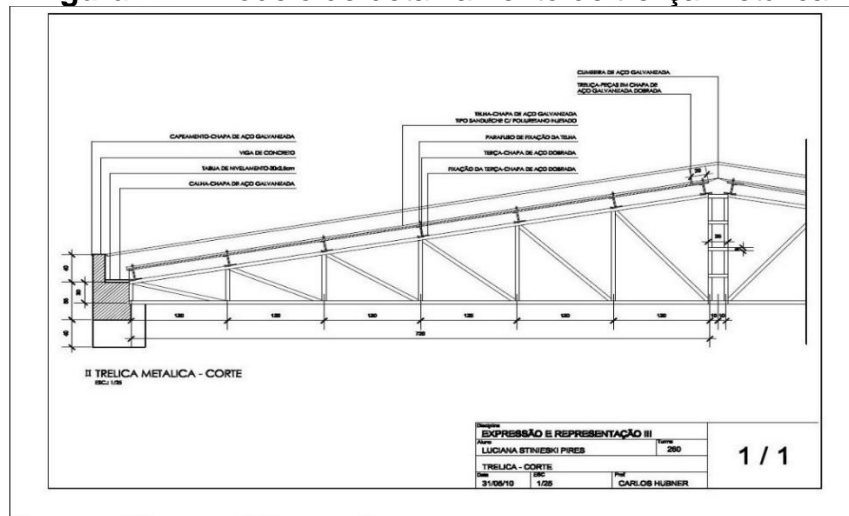
5.4.2 Cálculo Estrutural

Nesta fase do projeto são definidos os elementos estruturais e suas ligações, são realizadas as devidas verificações para que as escolhas estejam dentro do aspecto estrutural e funcional. Todo procedimento adotado de cálculo para a cobertura em análise, segue o normatizado pela ABNT NBR 14762 de 2010.

5.4.3 Detalhamento

O detalhamento faz-se muito importante para que o projeto seja executado conforme as definições de cálculos. Este é responsável por especificar todos os componentes da estrutura, materiais e orientação por ilustrações, tabelas e cotas. Abaixo na figura 14 é apresentado um modelo de detalhamento de uma cobertura metálica.

Figura 14 – Modelo de detalhamento de treliça metálica



Fonte: Pires, (2010).

5.5 DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA METÁLICA

Para o dimensionamento da cobertura em análise, foi utilizada as normativas ABNT NBR 14762 (2010) - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, ABNT NBR 6123 (1988) - Forças devidas ao vento em edificações e a ABNT NBR 6355 (2012) - Perfis estruturais de aço formados a frio.

5.5.1 Verificação da geometria por norma para perfis a frio e classificação de perfis AA e AL

A NBR 14762 de 2010 impõe relações largura/espessuras máximas que consta no item 9.1.2 da norma, que devem ser verificadas, antes de se escolher os perfis a serem utilizados. A tabela a seguir (tabela 3), especifica tais limites:

Tabela 3 - Valores máximos da relação largura-espessura

Caso a ser analisado	Valor máximo relação largura/espessura
Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma ou mesa e a outra a enrijecedor de borda simples;	$(b/t)_{\text{máx}} = 60$

Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma e a outra a mesa ou outro tipo de enrijecedor de borda com $l_s \geq l_A$ conforme item 9.2.3 da NBR 14762:2010;	$(b/t)_{\text{máx}} = 90$
Alma de perfis U não enrijecidos sujeita à compressão uniforme;	$(b/t)_{\text{máx}} = 90$
Elemento comprimido com ambas as bordas vinculadas a elementos AA;	$(b/t)_{\text{máx}} = 500$
Elemento comprimido AL ou AA com enrijecedor de borda tendo $l_s < l_a$ conforme item 9.2.3 da NBR 14762:2010;	$(b/t)_{\text{máx}} = 60$
Alma de vigas sem enrijecedores transversais	$(b/t)_{\text{máx}} = 200$
Alma de vigas com enrijecedores transversais apenas nos apoios e satisfazendo as exigências do item 9.5.1 da NBR 14762:2010;	$(b/t)_{\text{máx}} = 260$
Alma de vigas com enrijecedores transversais nos apoios e intermediários, satisfazendo as exigências do item 9.5.1 da NBR 14762:2010;	$(b/t)_{\text{máx}} = 300$
<p>a b é a largura do elemento; t é a espessura. b Para evitar deformações excessivas do elemento, recomenda-se $(b/t)_{\text{máx}} = 30$. c Para evitar deformações excessivas do elemento, recomenda-se $(b/t)_{\text{máx}} = 250$.</p>	
Como definida em 9.1.2. da NBR 14762:2010	

Fonte: NBR 14762, (2010). ADAPTADA.

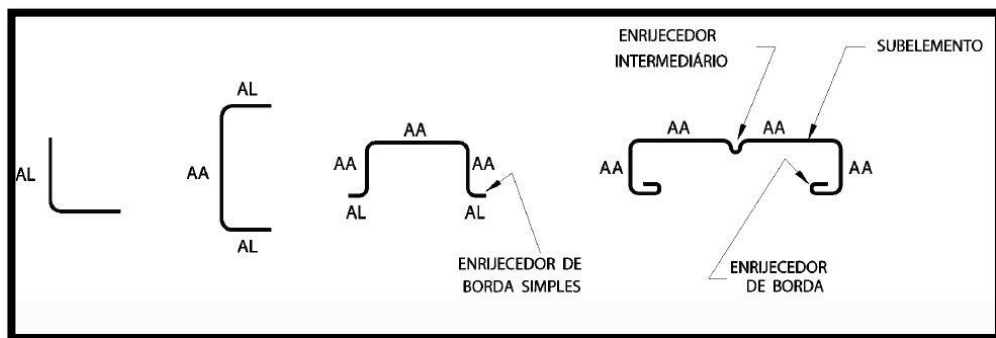
No que tange os elementos que compõem os perfis formados a frio temos, mesa, alma e enrijecedor, esses são classificados como elementos de borda livres (AL) ou elemento de bordas vinculadas (AA), sendo:

- ✓ Elementos AA - elemento plano com as duas bordas vinculadas a outros elementos na direção longitudinal do perfil;
- ✓ Elementos AL - elemento plano vinculado a outro elemento em apenas uma borda na direção longitudinal do perfil;

- ✓ Enrijecedor de borda simples - enrijecedor de borda constituído por um único elemento plano;
- ✓ Enrijecedor - elemento enrijecido entre as bordas longitudinais por meio de enrijecedor intermediário paralelo à direção longitudinal do perfil.

A figura a seguir apresenta todo os elementos acima citados (Figura 15).

Figura 15 - elementos componentes de perfis formados a frio



Fonte: NBR 14762, (2010).

5.5.2 Combinação de ações ELU

A NBR 14672:2010 define o carregamento como sendo, a combinações de diferentes ações que podem atuar simultaneamente na estrutura. As combinações devem ser feitas para que se determine as condições mais desfavoráveis para o empreendimento, sendo realizadas em função das combinações últimas e de serviço.

Sobre o ELU a respectiva norma deixa claro que, os estados-limites últimos estão relacionados com a verificação da segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil do empreendimento, havendo três tipos de combinações últimas, sendo elas:

Combinações últimas normais: sendo essas combinações as que, consideram os carregamentos previstos normais de ocorrerem no empreendimento quanto ao seu uso apresentada pela equação a seguir:

(Equação 1)

$$F_d = \sum(\gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum(\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j} \cdot F_{Qj,k})$$

Sendo:

$F_{Gi,k}$ - Representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ - Valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ - Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

Combinações últimas especiais: essas relacionadas a eventos isolados, que seus efeitos tem uma variação de intensidade que superam as das combinações normais, podendo esses eventos serem naturais. Apresentada pela equação:

(Equação 2)

$$F_d = \sum(\gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum(\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj,k})$$

$F_{Gi,k}$ - Representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ - Valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$ - Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

$\psi_{0j,ef}$ - Representa os fatores de combinação efetivos de cada uma das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável especial F_{Q1} .

Combinação última de construção: levada em consideração já na fase de construção, ela é realizada quando haja riscos de ocorrência de estados-limites últimos. Sendo seus carregamentos transitórios dependendo do especificado pelo caso em análise. Para essa combinação aplica-se a mesma expressão da de combinações últimas especiais.

Combinações últimas excepcionais: Essas por sua vez são relacionadas a eventos extraordinários naturais ou de alta intensidade podendo levar a estrutura ao colapso, sendo de curta duração. Apresentada pela equação:

(Equação 3)

$$F_d = \sum(\gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k}) + F_{Qexc} + \sum(\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj,k})$$

Sendo:

F_{Qexc} - é o valor da ação transitória excepcional.

Para o respectivo trabalho será utilizado a combinação última normal, método mais usual para empreendimentos não complexos.

5.5.3 Combinação de ações ELS

A NBR 14672:2010 especifica que as combinações de ações para verificações em serviço são classificadas de acordo com sua frequência de atuação na estrutura. Os estados-limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização existe diferentes tipos de combinações para ELS, sendo eles:

Combinações quase permanentes de serviço: sendo ações que podem atuar por longos períodos, chegando a ordem de grandeza da metade da vida útil do empreendimento:

Apresentada pela equação:

(Equação 4)

$$F_{ser} = \Sigma F_{Gi,k} + \Sigma (\psi_{2j} F_{Qj,k})$$

Combinações frequentes de serviço: são as combinações que se repetem muitas vezes pelo tempo de vida útil da estrutura, essas são usadas para estados-limites reversíveis, que não causem danos ao empreendimento e relacionadas ao conforto do usuário.

Apresentada pela equação:

(Equação 5)

$$F_{ser} = \Sigma F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} \Sigma (\psi_{2j} F_{Qj,k})$$

Combinações raras de serviço: tais combinações atuam por algumas horas na estrutura, relacionadas aos estados-limites irreversíveis, que causam danos ao empreendimento.

Apresentada pela equação:

(Equação 6)

$$F_{ser} = \Sigma F_{Gi,k} + F_{Q1,k} \Sigma (\psi_{1j} F_{Qj,k})$$

5.5.4 Dimensionamento a tração

Os elementos dimensionados a tração devem atender a seguinte verificação, dada pela NBR 14762 (2010), item 9.6.1:

As peças tracionadas não devem ter índice de esbeltez superior a 300:

(Equação 7)

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{min}} \leq 300$$

Sendo:

L_0 – comprimento de flambagem;

r_{min} – raio de giração mínimo da peça.

Atender a verificação de cálculo:

(Equação 8)

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$$

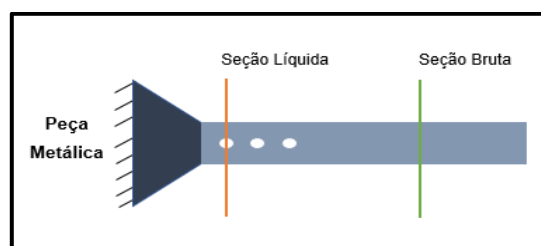
Sendo:

$N_{t,Sd}$ – esforço normal de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$ – esforço normal de tração resistente de cálculo.

No dimensionamento a tração são verificados diferentes estados limites últimos das peças (Figura 13).

Figura 16: Seções de uma peça metálica



Fonte: O autor (2019).

- **Escoamento da seção bruta:** O esforço normal resistente para o ELU de escoamento da seção bruta, é dado pela seguinte expressão:

(Equação 9)

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

Sendo:

 A_g – área bruta da seção transversal do perfil; f_y – tensão limite de escoamento do aço do perfil; γ_{a1} – 1,10.

- **Ruptura da seção líquida fora da região da ligação:** O esforço normal resistente no ELU para a ruptura na seção líquida, é dada de acordo com a expressão abaixo:

(Equação 10)

$$N_{t,Rd} = \frac{A_{n0} f_u}{\gamma_{a2}}$$

Sendo:

 A_{n0} – é a área líquida da seção transversal da barra fora da região da ligação; f_u – tensão limite última do aço do perfil; γ_{a2} – 1,35.

- **Ruptura da seção líquida na região da ligação:** O esforço normal resistente para o ELU na ruptura na seção líquida é dada de acordo com a expressão abaixo:

(Equação 11)

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n f_u}{\gamma_{a3}}$$

Sendo:

 A_n – é a área líquida da seção transversal da barra na região da ligação; f_u – Tensão limite última do aço do perfil; C_t – Coeficiente de redução da área líquida; γ_{a3} – Tendo valore de: 1,65.

O valor da força axial de tração resistente de cálculo, deve ser tomado como o menor valor obtido entre as equações.

5.5.5 Dimensionamento a compressão

5.5.5.1 Dimensionamento a flambagem

A norma NBR 14762:2010 (item 9.2.1) deixa evidente a existência de diferentes métodos de cálculo para avaliar a instabilidade local para perfis formados a frio, sendo elas:

- MLE – método da largura efetiva;
- MSE – método da seção efetiva;
- MRD – método da determinação direta dos esforços.

O método usado para análise da estrutura em estudo será o MLE (método da largura efetiva), sendo esse o mais usual nas literaturas usadas como base, método que consiste em considerar um diagrama de tensões uniforme, no local de um não uniforme. A largura efetiva é calculada pela equação abaixo descrita.

Quando $\lambda_p \leq 0,673$ temos $b_{ef} = b$

Quando $\lambda_p \geq 0,673$ temos $b_{ef} = \frac{b}{\lambda_p} \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right)$

Nos casos onde há tensões de tração e compressão no elemento, somente para elementos com borda livre (AL), substitui-se o b da equação convencional pelo b_c .

Sendo:

b_{ef} – largura efetiva;

λ_p – índice de esbeltez reduzido do elemento;

b – largura do elemento;

b_c – largura da região comprimida do elemento.

Importante destacar o cálculo da Largura efetiva de elementos uniformemente comprimidos com enrijecedor de borda simples, item 9.3.2 da NBR 14762:2010, que por possuírem enrijecedores tem os cálculos da instabilidade alterado, sendo ele:

Quando $\lambda_{p0} \leq 0,673$ temos:

$$b_{ef} = b$$

$$d = d_{ef}$$

Quando $\lambda_{p0} \geq 0,673$ temos:

$$b_{ef,1} = \left(\frac{I_s}{I_a}\right)\left(\frac{b_{ef}}{2}\right) \leq \left(\frac{b_{ef}}{2}\right)$$

$$b_{ef,2} = b_{ef} - b_{ef,1}$$

$$d_s = \left(\frac{I_s}{I_a}\right)d_{ef} \leq d_{ef}$$

Onde:

I_s – É o momento de inércia da seção bruta do enrijecedor em relação ao eixo que passa pelo seu centroide e é paralelo ao elemento a ser enrijecido;

I_a – É o momento de inércia de referência do enrijecedor borda;

b_{ef} – Largura efetiva;

b – Largura do elemento;

$b_{ef,1}$ e $b_{ef,2}$ – São as parcelas da largura efetiva do elemento;

d_{ef} – É a largura efetiva do enrijecedor;

d_s – É a largura efetiva reduzida do enrijecedor.

As peças comprimidas não devem ter índice de esbeltez superior a 200, como especificado na norma NBR 14762:2010 (item 9.7.4):

(Equação 12)

$$\lambda = \frac{L_0}{r_{\min}} \leq 200$$

Deve atender a verificação de cálculo:

(Equação 13)

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$$

Sendo:

$N_{c,Sd}$ – esforço normal de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ – esforço normal de compressão resistente de cálculo.

Para os estados de flambagem gerados por esforços de compressão normal, o esforço normal resistente de cálculo é dado por:

(Equação 14)

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma}$$

Sendo as variáveis desconhecidas:

γ – 1,2

χ – fator de redução associado a flambagem global por flexão, se valor λ_0 não maior que 3,0 a norma fornece o valor pela tabela do anexo 2 desse trabalho.

A_{ef} – é a área efetiva transversal da barra.

λ_0 – é o índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global, sendo dado pela equação:

(Equação 15)

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A f_y}{N_e}}$$

Sendo:

N_e – menor força crítica entre aquelas associadas à flambagem por flexão, torção ou flexotorção.

Para o cálculo de A_{ef} a norma permite três formas, pelo método da largura efetiva (MLE), pelo método da seção efetiva (MSE) e pelo método da determinação direta dos esforços (MRD). Para o respectivo trabalho foi utilizado o método MSE, que segue as condições e equações como informado no item 9.7.2 da NBR 14762 de 2010, que são:

Quando $\lambda_p \leq 0,776$ temos $A_{ef} = A$

Quando $\lambda_p > 0,776$ temos $A_{ef} = A \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,8}}\right) \frac{1}{\lambda_p^{0,8}}$

Sendo λ_p calculado por:

$$\lambda_p = \frac{\chi A f_y}{N_1}$$

Sendo:

N_1 – força axial de flambagem local elástica.

5.5.6 Dimensionamento à flexão simples

Quando submetidas a flexão simples, as barras devem atender a seguinte condição:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

O momento fletor resistente (M_{Rd}) deve ser o menor valor entre:

- O início do escoamento da seção efetiva:

(Equação 16)

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} f_y}{1,1}$$

Sendo:

W_{ef} – é o módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema que atinge o escoamento.

- Flambagem lateral com torção

(Equação 17)

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} W_{c,ef} f_y}{1,1}$$

Sendo:

χ_{FLT} – é o fator de redução do momento fletor resistente, associado à flambagem lateral com torção, calculado por:

Quando $\lambda_0 \leq 0,6$ temos $\chi_{FLT} = 1,0$

Quando $0,6 < \lambda_0 < 1,336$ temos $\chi_{FLT} = 1,11(1 - 0,278\lambda_0^2)$

Quando $\lambda_0 \geq 1,336$ temos $\chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2}$

Sendo λ_0 calculado por:

(Equação 18)

$$\lambda_0 = \left(\frac{W_c f_y}{M_e} \right)^{0,5}$$

Sendo:

W_c – é o módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra externa comprimida;

M_e – é o momento fletor de flambagem lateral com torção, em regime elástico.

$W_{c,ef}$ – é o módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema comprimida, pode ser calculado por dois modos, pelo MLE ou pelo MSE, sendo o MSE o método de cálculo adotado, método esse que segue as seguintes equações:

Quando $\lambda_p \leq 0,673$ temos $W_{c,ef} = W_c$

Quando $\lambda_p > 0,673$ temos $W_{c,ef} = W_c \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p}$

Sendo λ_p calculado por:

(Equação 19)

$$\lambda_p = \left(\frac{\chi_{FLT} W_c f_y}{M_1} \right)^{0,5}$$

Sendo:

M_1 – momento fletor de flambagem local elástica.

- Flambagem distorcional:

(Equação 20)

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{dist} W f_y}{1,1}$$

Sendo:

χ_{dist} = É o fator de redução do momento fletor resistente, associado à flambagem distorcional, calculado por:

Quando $\lambda_{dist} \leq 0,673$ temos $\chi_{dist} = 1$

Quando $\lambda_{dist} > 0,673$ temos $\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}}$

Sendo λ_p calculado por:

(Equação 21)

$$\lambda_p = \left(\frac{W f_y}{M_{dist}} \right)^{0,5}$$

Sendo:

M_{dist} – é o momento fletor de flambagem distorcional elástica.

W – é o módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema que atinge o escoamento.

5.5.7 Dimensionamento à flexão composta

Quando submetidas a flexão composta, as barras devem atender a seguinte condição:

(Equação 22)

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Sendo:

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ – máximos momentos fletores solicitantes de cálculo, para as direções x e y;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ – momentos fletores resistentes de cálculo, para as direções x e y.

N_{Sd} e N_{Rd} – Esforços normais solicitantes e resistentes.

5.5.8 Dimensionamento ao cisalhamento

Muitos elementos numa estrutura estão submetidos ao esforço cortante, e para combater esse esforço, a NBR 14762:2011 sugere que seja atendida a seguinte condição:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

Onde:

V_{Sd} – Esforço cortante solicitante;

V_{Rd} – Esforço cortante resistente.

O cálculo do esforço cortante depende diretamente da relação h/t como a norma NBR 14762:2010 orienta no item 9.8.3. segundo a respectiva norma, o cálculo de esforço cortante é feito da seguinte forma:

$$\text{Para } \frac{h}{t} \leq 1,08 \left(\frac{E K_v}{f_y} \right)^{0,5}$$

$$V_{Rd} = 0,6 \frac{f_y h t}{1,1}$$

$$\text{Para } 1,08 \left(\frac{EK_v}{f_y} \right)^{0,5} < \frac{h}{t} \leq 1,4 \left(\frac{EK_v}{f_y} \right)^{0,5}$$

$$V_{Rd} = 0,65 t^2 \left(\frac{K_v f_y E}{1,1} \right)^{0,5}$$

$$\text{Para } \frac{h}{t} > 1,4 \left(\frac{EK_v}{f_y} \right)^{0,5}$$

$$V_{Rd} = \left(\frac{0,905 EK_v t^3}{h} \right) / 1,1$$

Sendo:

t – é a espessura da alma;

h – é a largura da alma.

K_v – é o coeficiente de flambagem local por cisalhamento, dado por:

para alma sem enrijecedores transversais, ou para $a/h > 3$:

$$K_v = 5,0$$

Para alma com enrijecedores transversais satisfazendo as exigências do item 9.5.3 da NBR 14762 de 2010, que são:

A relação a/h não deve exceder $3,0$ nem $[260/(h/t)]^2$; momento de inércia I_s de um enrijecedor simples ou duplo, em relação ao eixo contido no plano médio da alma, não deve ser inferior a:

$$I_{s,\min} = 5 h t^3 \left(\frac{h}{a} - 0,7 \frac{a}{h} \right) \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4$$

Se tem:

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2}$$

Sendo:

A – a distância entre enrijecedores transversais de alma.

6 ESTUDO DE CASO

Tendo em vista os dados da empresa que executou a estrutura quanto da fornecedora, bem como dos funcionários envolvidos, não foram permitidos serem vinculados no trabalho, com isso usou-se pseudônimos para os mesmos.

Será analisada a cobertura produzida pela empresa Construtora, que utiliza perfil metálico formado a frio substituindo o usual perfil em madeira, dando suporte às telhas cerâmicas do tipo colonial comum. A empresa é consolidada no mercado, voltada a produção de casas padrão unifamiliar, produziu ao todo 800 unidades com esse modelo de cobertura nas cidades de São Gonçalo do Amarante e Mossoró, cidades do Rio Grande do Norte, o engenheiro responsável informou, que o uso desse tipo de cobertura foi escolhido por proporcionar uma montagem e finalização mais rápida comparada a usual em madeira, e a redução de consumo de madeira, com intuito de preservar o meio ambiente.

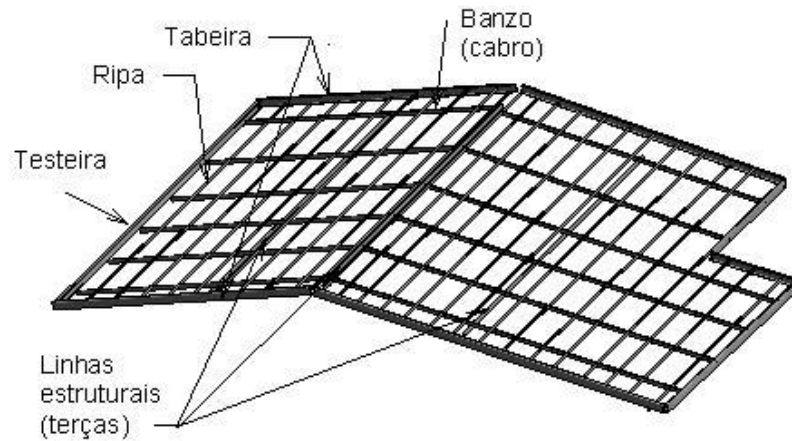
Importante inferir que a empresa Construtora fez a compra dos perfis com uma empresa da cidade de Recife do estado de Pernambuco, a empresa fornecedora, Empresa AA como foi chamada no trabalho, forneceu o projeto de paginação e montagem da cobertura já compatibilizado com a planta baixa fornecida pela Construtora, a Empresa AA forneceu, perfis, parafusos, plantas de paginação e montagem, o orçamento fornecido por ela foi do valor total de uma unidade de cobertura não sendo detalhado valores de cada unidade do material.

O referido trabalho buscou analisar os perfis usados na cobertura de um modelo residencial na cidade de São Gonçalo, produzido pela empresa Construtora, também analisar o custo da produção dessa unidade de cobertura e comparar aos valores fornecidos pela tabela Seinfra de uma coberturas em madeira.

6.1 PROCESSO EXECUTIVO – MONTAGENS DA ARMAÇÃO DA COBERTURA

A estrutura tem a função de dar suporte aos elementos de telha, a mesma apresenta diferentes elementos como ripas, banzos e linhas estruturais, a Figura 17 demonstra de forma ilustrada a estrutura em análise e seus elementos.

Figura 17 - Modelo digital da estrutura de aço em análise



Fonte: O autor (2019).

A estrutura é montada por etapas, sendo elas: a pré-montagem das linhas estruturais, pré-montagem dos painéis ripados e fixação dos painéis ripados. Cada processo tendo diferentes métodos de execução, sendo eles descritos a baixo:

- **Pré-montagem dos elementos estruturais**

A cobertura é iniciada pelo processo de pré-montagem, onde são instalados os elementos estruturais de suporte (linhas estruturais), que podem ser vinculados diretamente na alvenaria, chumbados com furos na estrutura e fixados com argamassa de alta resistência ou por parafuso específico para uso em concreto, procedimento realizado logo após o período de cura dos elementos estruturais da edificação, demonstrado na figura 18, que apresenta dois operários montando os elementos de linha estrutural na alvenaria.

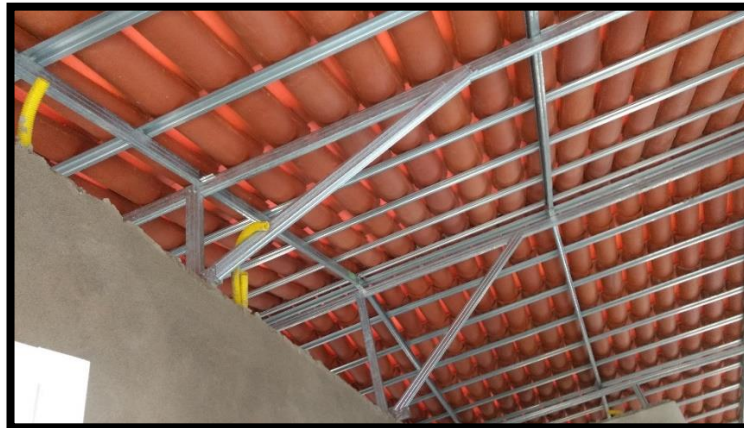
Figura 18 - Colocação das linhas estruturais



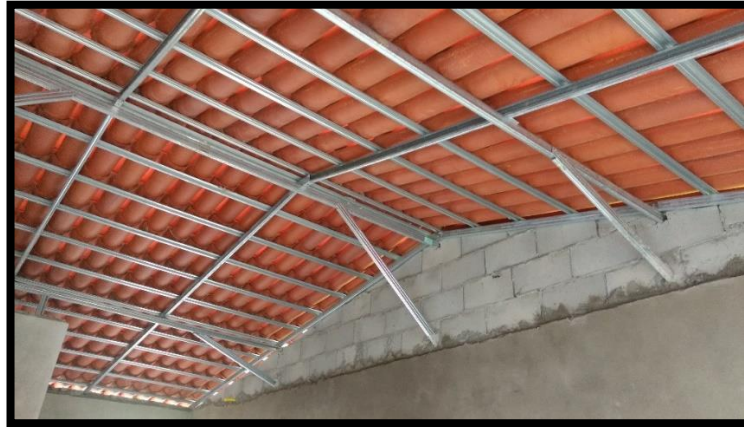
Fonte: O autor (2019).

No que tange os elementos da cobertura nessa etapa são; linhas estruturais (terças), diagonais, U estruturais e cantoneiras, elementos estes de suporte e fixação, responsáveis por transferir as cargas da cobertura para as estruturas em alvenaria, as figuras 19 e 20 mostram os elementos de U estruturais, diagonais e montantes citados a cima já vinculados a alvenaria.

Figura 19 - Diagonais e U estruturais vinculados a alvenaria



Fonte: O autor (2019).

Figura 20: Diagonais vinculadas a alvenaria

Fonte: O autor (2019).

A descrição dos perfis envolvidos nesta etapa segue a baixo, na tabela 04.

Tabela 4 - Detalhamento elementos de suporte

Elemento	Dimensões (mm)
Linha estrutural (terça)	50x25x10x1,5
Diagonal	50x25x10x1,5
U estrutural	125x50x20
Cantoneira	50x50
Parafuso AB (fixação dos banzos)	4,8x 19
Parafuso AB para concreto	6,3 x 45

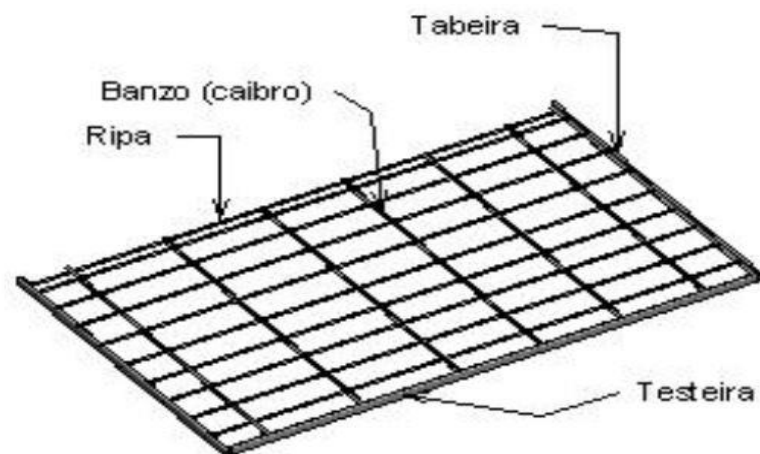
Fonte: Projeto Construtora (2019).

- **Pré-montagem dos painéis ripados**

Em seguida é realizada a montagem dos elementos de ripas, banzos, ripas, tabeiras e testeiras, esse conjunto é comumente chamado de painéis ripados, são 2

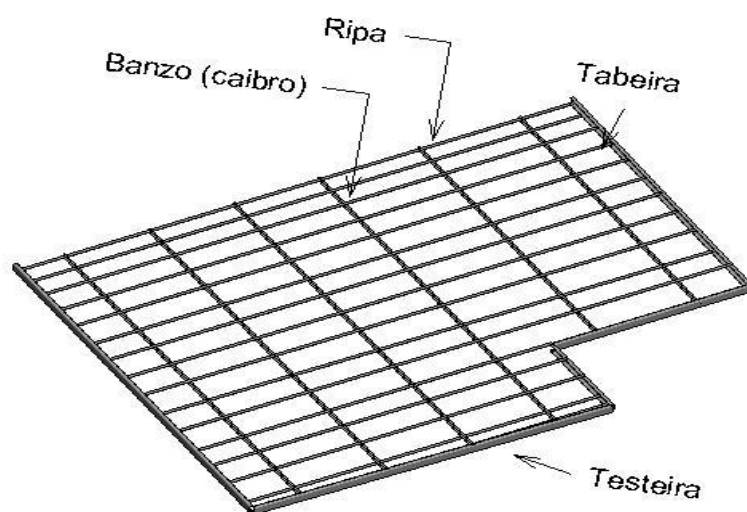
painéis referentes ao número de águas da cobertura, a Figura 21 apresenta o modelo digital do painel ripado 01, que tem queda de água para a fachada da edificação, a figura 22 apresenta um modelo digital do painel ripado 02 que apresenta a queda de água dos fundos do empreendimento.

Figura 21 - Modelo digital do painel ripado 01 com queda de água para a fachada do empreendimento



Fonte: O autor (2019).

Figura 22 - Modelo digital do painel ripado 02, com queda de água para os fundos do empreendimento



Fonte: O autor (2019).

Importante inferir, que o procedimento de montagem dos painéis ripados é feito separadamente dos elementos de linha estrutural, normalmente feito em outro local, utilizando gabarito para colocação correta dos elementos e seus espaçamentos, gabarito mostrado na Figura 22:

Figura 22 -Gabarito para montagem dos elementos de banzos e ripas



Fonte: O autor (2019).

Os operários utilizando o gabarito para colocação dos perfis mostrado na Figura 23.

Figura 23 - Montagem dos banzos no gabarito



Fonte: O autor (2019).

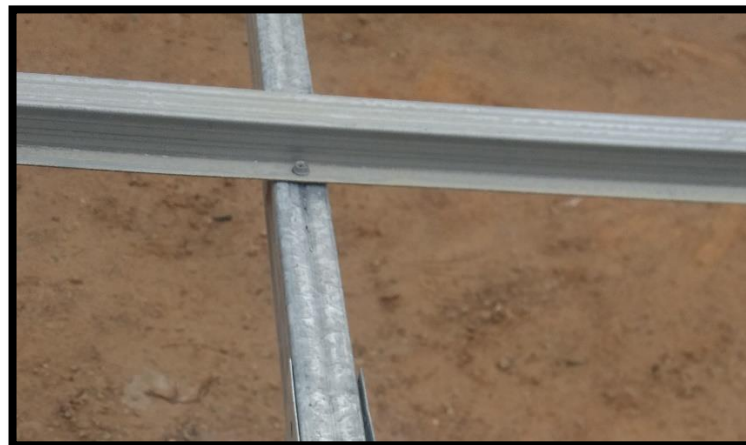
A fixação é feita por parafuso sem abertura previa do furo, onde é fixado os elementos de ripa nos banzos (caibros), de forma mecânica com uso de parafusadeira elétrica, a Figura 24 demonstra o processo, e a figura 23 mostra o detalhe da fixação.

Figura 24 - Processo de fixação dos elementos de ripa nos banzos



Fonte: O autor (2019).

Figura 25 - Detalhe do parafuso de fixação da ripa no banzo



Fonte: O autor (2019).

Sendo os perfis envolvidos nessa etapa e parafusos usados descritos na tabela a baixo (tabela 5), o processo leva entorno de 30 a 50 minutos por cada painel, o número de operários para realizar a montagem varia entre 2 ou 3.

Tabela 5 - Detalhamento dos elementos que compõem os painéis ripados

Elemento	Dimensões (mm)
Ripas	30x20x10x0,95
Ripa Tabeira	50x50x20
Banzo	50x25x10x1,5
Tabeira (lareiras)	11x114x10x45
Testeira (frente e trás)	25x192x100
Parafuso AB (fixação das ripas e testeiras)	4,2x12,7

Fonte: O autor (2019).

- **Fixação dos painéis ripados**

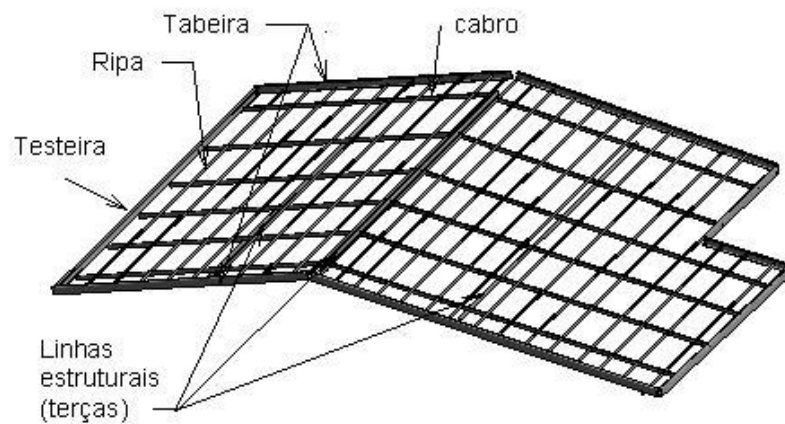
Em seguida é realizado o transporte dos painéis ripados para o local da edificação (Figura 26).

Figura 26 - Painéis ripados prontos para serem erguidos

Fonte: O autor (2019).

Em se tratando dos painéis, são fixados a estrutura já instalada da cobertura (linhas estruturais), por meio de fixação semelhante a montagem do painel ripado, apenas com alteração dos diâmetros dos parafusos usados. Os painéis são erguidos manualmente, já que os mesmos apresentam baixo peso, nesse processo de fixação são dispostos 3 funcionários, a Figura 27 apresenta a estrutura finalizada.

Figura 27 - Modelo digital da estrutura em aço finalizada



Fonte: O autor (2019).

Ao se concluir a estrutura metálica, e colocado manualmente as telhas cerâmicas coloniais, a edificação apresenta uma estética não diferente de uma com estrutura em madeira, como visto na Figura 28.

Figura 28 - Fachada, empreendimento concluído



Fonte: O autor (2019).

6.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Diante do que foi dito, a Empresa AA fornecedora dos materiais da estrutura para a cobertura, não disponibilizou projeto estrutural nem memorial de cálculos, sabendo que a verificação do dimensionamento é de fundamental importância para que se possa avaliar os perfis envolvidos, assim verificando se os perfis utilizados suportam as solicitações, bem como se apresentam eficiência no seu dimensionamento. O respectivo trabalho busca avaliar de forma detalhada a resposta estrutural dos elementos que compõem a estrutura da cobertura, por meio de análise em softwares como Ftool e VisualVentos, também realizar as verificações descritas na NBR 14762 de 2010. As observações acerca do dimensionamento são:

- O dimensionamento foi feito utilizando as normativas ABNT NBR 6123 (2014) – forças devidas ao vento em edificações, ABNT NBR **14762** (2010) - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, ABNT NBR **6355 (2012)** - Perfis estruturais de aço formados a frio;
- Os valores obtidos das combinações de ações foram colocados sobre a representação digital dos elementos da estrutura no Ftool, assim obtendo valores solicitantes;
- Os valores obtidos de vento não foram considerados pois o elemento de telha é do tipo colonial comum não fixada a estrutura, desse modo não transmitindo esforços de sucção para a estrutura em análise, a NBR 6123 de 1988 no seu item 4 deixa claro que o cálculo de esforços devido ao vento é feito separadamente por elemento ou conjunto fixado.
- O projeto de paginação apresenta o mesmo perfil para diferentes utilidades, como o perfil 50X25X10 que é usado como, banzo, mão francesa e diagonais, será dimensionado esses perfis para suas piores situações.
- Parte dos cálculos envolvidos para o dimensionamento estão disponíveis nos apêndices.

6.2.1 Verificação da relação largura/espessura por norma

Como já citado no 5.5.1 desse trabalho, a norma NBR 14762 de 2010 solicita a verificação da relação largura/espessura de todos perfis utilizados, ela especifica valores máximos da relação para verificação, valores dispostos na tabela 05 no item 5.5.1. Ao se verificar os perfis solicitados obtivemos os resultados mostrados na tabela a baixo.

Tabela 6 – Verificação da relação comprimento sobre espessura

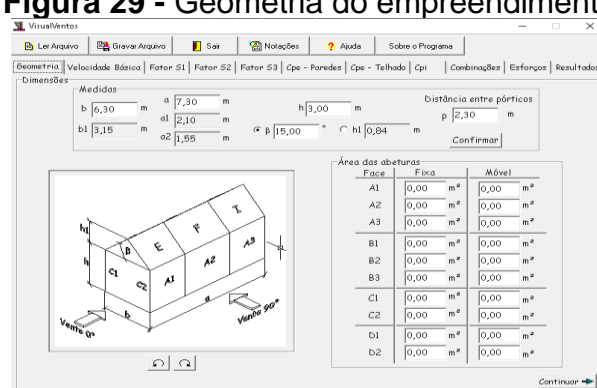
Elemento	Verificação
50x25x10x1,5	AA(e) = 20 < 60 AA = 40 < 90 AL(e) = 8 < 60
30x20x10x0,95	AA(e) = 46 < 60 AA = 30,8 < 90 AL(e) = 15,4 < 60

Fonte: O autor (2019).

6.2.2 Combinações de ações e solicitações

Mediante a verificação do cálculo de vento utilizando o software VisualVentos, foi possível obter valores de ventos apenas de sucção tanto para a direção de 0° quanto para a de 90°: Os dados e coeficientes escolhidos são apresentados na figura 29 que apresenta a tela de inserção dos dados do empreendimento.

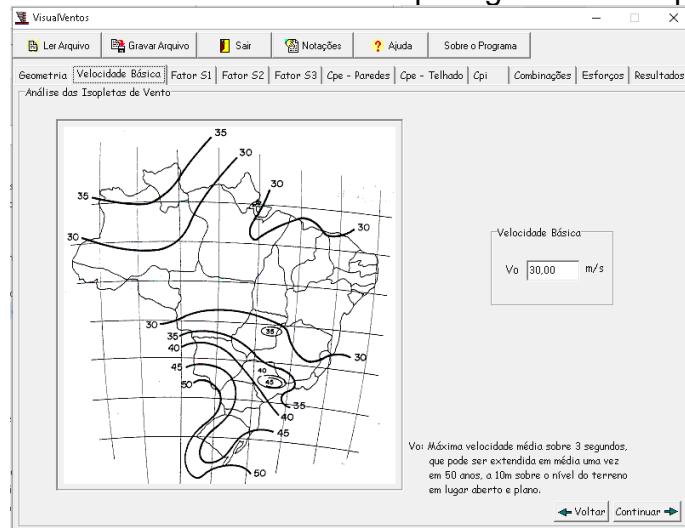
Figura 29 - Geometria do empreendimento



Fonte: O autor (2019).

O informado por planta baixa fornecida pela empresa construtora foi que o empreendimento dispõe de, 6,3 metros de largura de 7,3 metros de comprimento, uma altura de parede de 3 metros e uma inclinação do telhado de 15°.

Figura 30 - Velocidade do vento pelo gráfico de isopletras



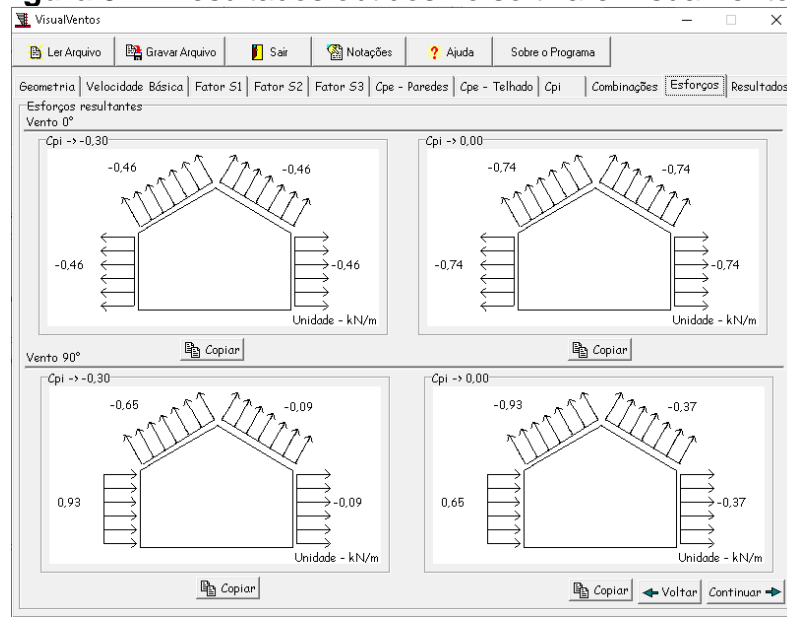
Fonte: O autor (2019).

A Velocidade básica do vento para a cidade de São Gonçalo do Amarante – RN conforme especificado na imagem acima é de 30m/s.

Para os fatores restantes foram adotadas as seguintes opções:

- Fator topográfico (S1) - terreno plano ou fracamente acidentado;
- Fator de rugosidade (S2) – categoria 3, Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m;
- Fator estatístico (S3) – grupo 2, edificações para hotéis e residências.

Diante dos seguintes fatores e dados introduzidos no software VisualVentos se obteve os resultados mostrados na Figura 31:

Figura 31 - Resultados obtidos no software VisualVentos.

Fonte: O autor (2019).

Sendo que tais valores não foram considerados pois o elemento de telha é do tipo colonial comum não fixada a estrutura, desse modo não transmitindo esforços de sucção para a estrutura em análise, a NBR 6123 de 1988 no seu item 4 deixa claro que o cálculo de esforços devido ao vento é feito separadamente por elemento ou conjunto fixado.

Diante do exposto, a combinação de ação utilizada foi a última combinação normal especificada no item 5.5.2, presente nesse trabalho, referente ao ELU, sendo escolhida por ser o método mais usual para os cálculos de coberturas, por também levar em considerações solicitações e ações usuais não excepcionais. Para o cálculo de combinações é utilizado valores como, peso específico dos elementos e sobrecargas mínimas especificadas por norma conforme mencionado no item 5.5.2 acerca das ações incidentes na estrutura. Para os valores foram adotados os seguintes pesos por elemento fornecido pela Empresa AA.

Tabela 7 - Valores dos pesos por elemento

Elemento	Pesos
Ripa	0,612 kg/m
Banzo (caibro)	1,30 kg/m
Linha estrutural (terça)	1,30 kg/m

Telha cerâmica colonial

57,6 Kg/m²

Fonte: Empresa AA (2020), ADAPTADA.

Em relação a ação de sobrecarga foi utilizado o prescrito pela NBR 8800 de 2008 no seu item B.5.1 no seu anexo B, de modo que se considera os valores mínimos para sobrecarga em coberturas, sendo a sobrecarga de utilização que a norma fornece como 0,25 KN/m² e a sobrecarga acidental que a norma dá como valor mínimo 0,05 KN/m².

Em se tratando dos cálculos referentes as combinações de ações estão disponíveis no apêndice A, acerca do elemento de U estrutural esse tem a função apenas de fixação da diagonais e montantes, já os elementos de diagonais e montantes são analisados como um conjunto a linha estrutural semelhante a uma treliça, modelos demonstrados nas figuras 32,33 e 34. Na tabela 8, é informado os valores máximos obtidos da combinação para cada elemento.

Tabela 8 - Valores máximos obtidos nas combinações

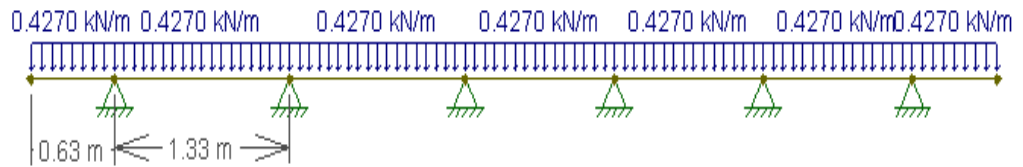
Elemento	Valor máximo adotado (KN/m)
Ripa	0,427
Banzo	0,0163
Linha estrutural	0,0163

Fonte: O autor (2019).

Os valores máximos obtidos das combinações foram distribuídos pelas representações digitais de cada elemento, modelados no software Ftool, levando em consideração a inclinação para o elemento de Banzo (caibro) e modelos de suporte das linhas estruturais com as montantes e diagonais, obtendo assim os diagramas de momento fletor (DMF), esforço cortante (DEC) e esforço normal (DEN), com os gráficos se obteve os respectivos valores de tensões solicitantes máximas. As figuras a seguir apresentam os modelos digitais, com os respectivos carregamentos das

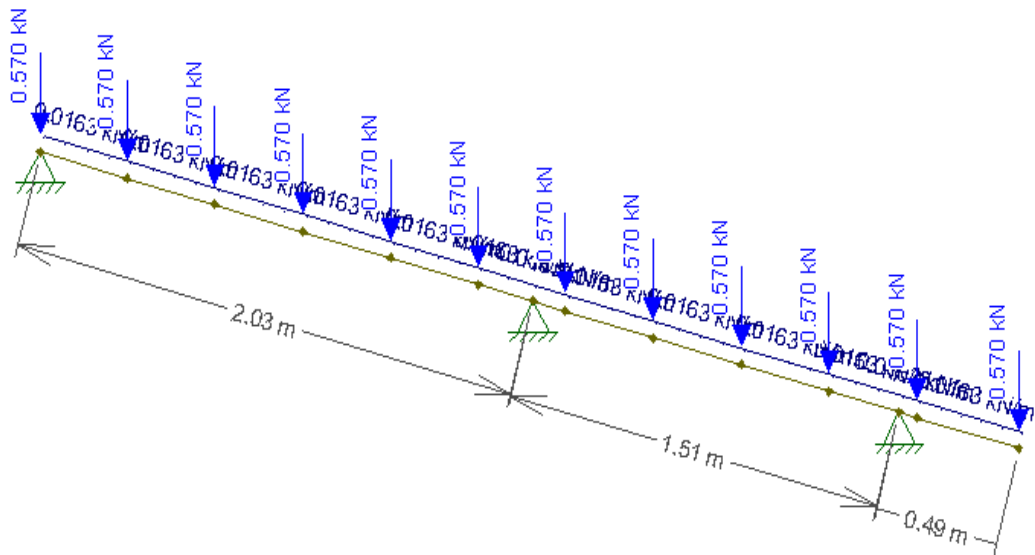
combinações de ações atuantes. Para as vinculações e espaçamentos foram seguidos os modelos apresentados nos projetos de paginação e montagem fornecidos pela empresa Construtora.

Figura 32 - Modelo digital no Ftool do elemento de Ripa



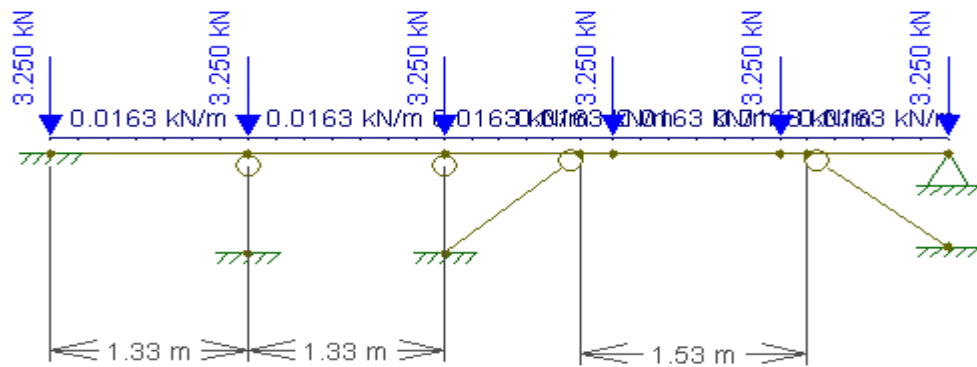
Fonte: O autor (2019).

Figura 33 - Modelo digital no Ftool do elemento de Banzo (caibro)



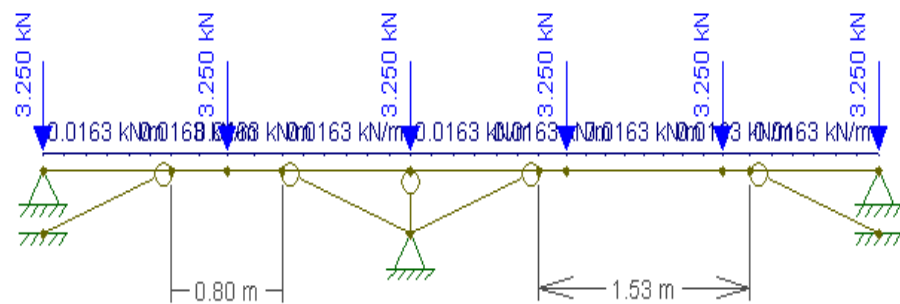
Fonte: O autor (2019).

Figura 34 - Modelo digital no Ftool do elemento de Linha estrutural 01



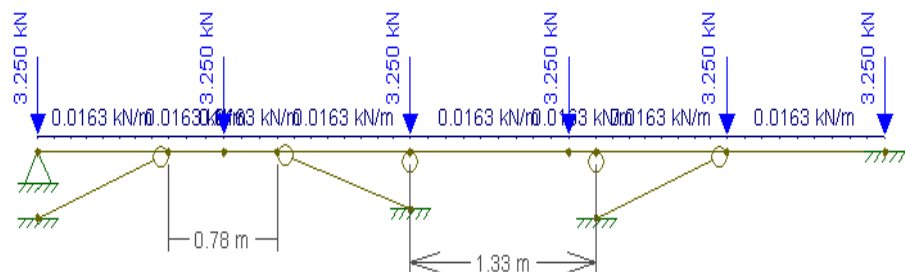
Fonte: O autor (2019).

Figura 35 - Modelo digital no Ftool do elemento de Linha estrutural 02



Fonte: O autor (2019).

Figura 36 - Modelo digital no Ftool do elemento de Linha estrutural 03



Fonte: O autor (2019).

Vale inferir, que através dos modelos digitais e os carregamentos das combinações de ações foram alcançados pelo software Ftool os diagramas de DMF, DEC e DEN, dos quais foram obtidos os valores máximos solicitantes. No que tange as imagens dos diagramas podem ser encontradas no apêndice B, segue na tabela 9 os valores máximos para cada elemento em análise.

Tabela 9 - Valores máximos de solicitação para cada elemento em análise obtidos pelo Ftool

Elemento	Cortante máxima (KN)	Compressão máxima (KN)	Tração máxima (KN)	Momento máximo y (KN.M)	Momento máximo x (KN.M)
Ripas	0,33	-	-	0,093	0,025
Banzo	1,8	1,37	-	0,734	-
Linha estrutural 1	3,67	3,74	-	0,448	0,125
Linha estrutural 2	3,64	7,33	-	0,47	0,126
Linha estrutural 3	3,26	5,53	-	0,498	0,134
Mão francesa	-	12,11	-	-	-
Diagonais	-	3,86	-	-	-

Fonte: O autor (2019).

6.2.3 Resistências

No que se refere aos cálculos de resistências foram utilizados os maiores vãos destravados (L) ou regiões de maiores solicitações levando em consideração as piores situação. A verificação dos elementos de banzos, caibros, mão francesas e diagonais, foram feitas para as suas situações mais críticas, conforme verificada cada

uma das solicitações de maior intensidade, haja vista que tais elementos são do mesmo perfil 50x25x10x1,5.

Os perfis são de aço CF – 26 especificado na norma NBR 14762 de 2010 no item 4.1.3, revestidos com zinco. Para esse tipo de aço temos os valores de $f_y = 26$ KN/cm² e $f_u = 40$ KN/cm², a norma também especifica o módulo de elasticidade (E) como sendo 20000 KN/cm².

Em seguida será segue os valores de resistências já calculados e os percentuais de utilização comparados aos valores da tabela 9 para cada elemento. Os cálculos estão disponíveis nos apêndices C e D.

- Ripa

Elemento oblíquo, submetido a cisalhamento e flexão oblíqua, com inclinação de 15° do telhado, os valores obtidos para L = 1,33 metros foram:

Tabela 10 - Valores e verificação para elemento ripa

Resistências		Solicitações		Aproveitamento (%)
Vrd =	3,53 KN	Vsd =	0,33 KN	9,35%
Mx,rd =	0,06 KN.m	Mx,sd =	0,025KN.m	41,66%
My,rd =	0,15 KN.m	My,sd =	0,093KN.m	62%

Fonte: O autor (2019).

- Banzo

Submetido a cisalhamento e flexão simples, os valores obtidos para L = 2,03 metros foram:

Tabela 11 - Valores e verificação para elemento banzo

Resistências		Solicitações		Aproveitamento (%)
Vrd =	9,36 KN	Vsd =	2,01KN	21,47%
My,rd =	0,2824 KN.m	My,sd =	0,527 KN.m	-44%

Fonte: O autor (2019).

- Linhas estruturais

Elemento oblíquo, submetido a cisalhamento e flexão composta, compressão centrada, com inclinação de 15° do telhado, os valores obtidos para L = 1,33 metro foram:

Tabela 12 - Valores e verificação para elemento Linha estrutural

Resistências		Solicitações		Aproveitamento (%)
Vrd =	9,36 KN	Vsd =	3,67 KN	39,2%
Mx,rd =	0,22 KN.m	Mx,sd =	0,134 KN.m	60,1%
My,rd =	0,54 KN.m	My,sd =	0,449 KN.m	83,12%
Nc,rd =	17,8 KN	Nsd =	5,53 KN	31,06%

Fonte: O autor (2019).

- Mão francesas

Submetido a compressão centrada, os valores obtidos para L = 1,0 metro foram:

Tabela 13 - Valores e verificação para elemento mão francesas

Resistências		Solicitações		Aproveitamento (%)
Nc,rd =	17,8 KN	Nsd =	12,11 KN	68,03%

Fonte: O autor (2019).

- Diagonais

Submetida compressão centrada, os valores obtidos para L = 1,0 metro foram:

Tabela 14 - Valores e verificação para elemento diagonais

Resistências		Solicitações		Aproveitamento (%)
Nc,rd =	17,8 KN	Nsd =	3,86 KN	21,69%

Fonte: O autor (2019).

Cabe ressaltar que foi feita a verificação da esbeltes para barras submetidas a compressão, já que nenhum elemento mostrou esforço a tração, sendo o elemento de mão francesa o que tem maior comprimento destravado, com $L = 100\text{cm}$. A fórmula segue a apresentada no item 5.5.6 desse trabalho, sendo:

$$\lambda = \frac{L}{r_{\min}} \leq 200$$
$$\lambda = \frac{100}{3,04} = 32,89 \leq 200$$

6.2.4 Verificação do deslocamento máximo

Para a verificação do deslocamento máximo prescrito pela NBR 14762 de 2010. Foi aplicado as dimensões de cada elemento no Ftool assim como as características do elemento, sendo o tipo do aço FC-26, a NBR 14761 de 2010 específica como modulo de elasticidade (E) sendo 200 000 MPA, o coeficiente de Poisson(ν) sendo 0,3 e o coeficiente de dilatação térmica(β) com valor de $1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$.

A ABNR NBR 14762 de 2010 em seu anexo A especifica os valores máximos de deslocamento por vão destravado L.

Figura 37 - Tabela de valores máximos para deslocamento por vão destravado

Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
Terças de cobertura ^g	$L/180^e$
	$L/120^f$
Vigas de cobertura ^g	$L/250^h$
Vigas de piso	$L/350^h$
Vigas que suportam pilares	$L/500^{h,i}$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	$H/300$
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400^i$
— Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
— Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$H/500^j$
^a L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar). ^b Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso eles existam). ^c Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento. ^d Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico. ^e Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente. ^f Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico. ^g Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade. ^h Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm. ⁱ O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm. ^j Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.	

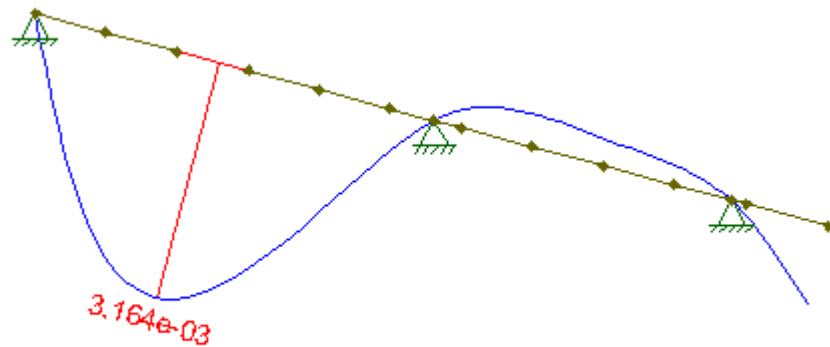
Fonte: NBR 14762, (2010). ADAPTADA.

Para cálculo de banzo(caibro) foi se utilizado da tabela a relação L/120, obtendo o seguinte valor levando em conta um elemento de travessa de fechamento:

$$\frac{L}{120} = \frac{2,03\text{metros}}{120} = 0,0169 \text{ metros}$$

Logo, o valor obtido no Ftool demonstrado na figura 38 é de 0,00316 metros. Elementos passou na verificação.

Figura 38 - Deslocamento máximo elemento Banzo



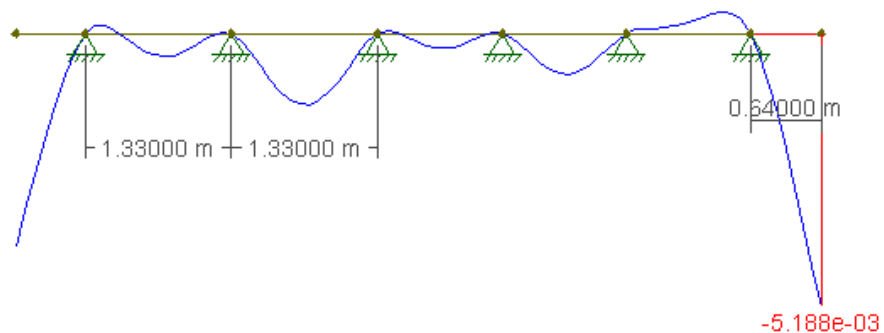
Fonte: O autor (2019).

Para cálculo do elemento de ripa foi se utilizado da tabela a relação $L/120$, obtendo o seguinte valor:

$$\frac{L}{120} = \frac{0,64 \text{ metros}}{120} = 0,0053$$

o valor obtido no Ftool demonstrado na figura 37 é de 0,005188 metros. Elementos passou na verificação.

Figura 39 - Deslocamento máximo elemento de ripa

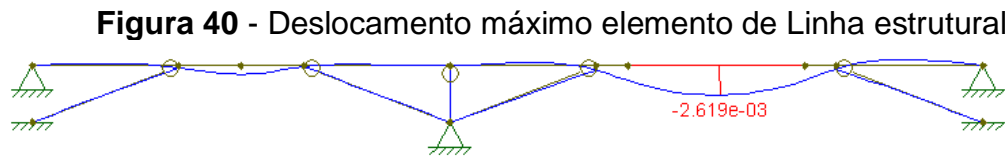


Fonte: O autor (2019).

Para cálculo do elemento de linha estrutural foi utilizado das três a que tem maior deslocamento por maior vão, foi-se utilizado da tabela a relação $L/250$, obtendo o seguinte valor:

$$\frac{L}{250} = \frac{1,33 \text{ metros}}{250} = 0,00532 \text{ metros}$$

Logo, o valor obtido no Ftool demonstrado na figura 40 é de 0,002619 metros. Elementos passou na verificação.



Fonte: O autor (2019).

6.2.5 Análise dos resultados obtidos

Por meio da avaliação dos perfis e suas solicitações mais críticas, foi possível observar que, a utilização da maioria dos perfis se encontra de forma eficiente e validadas pelas normativas vigentes, contudo o perfil usado para banzo não atendeu à solicitação a flexão, em específico à flexão lateral por torção, obtendo valores resistentes menores do que os solicitantes, esse resultado pode ser conferido nos cálculos abaixo referente ao elemento de banzo:

Momento no eixo X

Barras submetidas à Flexão simples, segue o especificado no item 5.5.7 desse trabalho.

- Flambagem distorcional

Valor de M_{distx} obtido no anexo 1 de cargas críticas, valores de dimensões e especificações geométricas do perfil disponível no anexo 1 retirados da NBR 6355 de 2003.

$M_{distx} = 451 \text{ kN.cm}$

$I_x = 6,31 \text{ cm}^4$

$W_x = 2,52 \text{ cm}^3$

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W_x F_y}{M_{dist}}} = \sqrt{\frac{2,52 \cdot 26}{451}} = 0,3815$$

$\lambda_{dist} < 0,673$ temos $\chi_{dist} = 1$

$$M_{yrdist} = \frac{\chi_{dist} \cdot W_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{1,2 \cdot 2,52 \cdot 26}{1,1} = 59,56 \text{ KN.cm} = 0,6 \text{ KN.m}$$

- Flambagem lateral com torção

$$M_{yftt} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{C,ef} \cdot F_Y}{1,1} = \frac{0,476 \cdot 2,52 \cdot 26}{1,1} = 28,35 \text{ Kn. cm} = 0,2835 \text{ KN. m}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{FLT} \cdot W_X \cdot F_Y}{M_I}} = \sqrt{\frac{0,91 \cdot 2,52 \cdot 26}{766,6}} = 0,278$$

Para $\lambda_p < 0,673$ temos $W_{c,fe} = W_c$

$$M_I = K_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1-\nu^2) \cdot \left(\frac{bw}{t}\right)^2} \cdot W_X = 18,7 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20000}{12 \cdot (1-0,3^2) \cdot \left(\frac{5}{0,15}\right)^2} \cdot 2,52 = 766,6$$

Tendo $K_1 = 18,7$ na tabela 19 do apêndice C

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_X \cdot F_Y}{M_e}} = \sqrt{\frac{2,52 \cdot 26}{31,04}} = 1,45$$

$L_x = 203 \text{ cm.}$

$L_y = 203 \text{ cm.}$

$L_t = 203 \text{ cm.}$

$r_0 = 3,03 \text{ cm.}$

$x_0 = 2,12 \text{ cm.}$

$y_0 = 0 \text{ cm.}$

$I_w = 8.95025275565764 \text{ cm}^6.$

$I_x = 6,31 \text{ cm}^4.$

$I_y = 1,46 \text{ cm}^4.$

$I_t = 0,01 \text{ cm}^4.$

$N_{ex} = 30,23 \text{ kN.}$

$N_{ey} = 6,99 \text{ kN.}$

$N_{ez} = 15,01 \text{ kN.}$

$$M_e = C_b \cdot R_0 \cdot \sqrt{N_{EY} \cdot N_{EZ}} = 1,3 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{6,99 \cdot 15,01} = 31,04$$

Para $C_b = 1,0$

Para $\lambda_0 \geq 1,336$ temos $\chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2} = \frac{1}{1,45^2} = 0,476$

- Início de escoamento da seção efetiva

Método das Larguras Efetivas

$$\sigma = 26 \text{ kN/cm}^2$$

máxima coordenada $Y = 2,5 \text{ cm}$ (fibra comprimida)

$$I_{x_{ef}} = 6,31 \text{ cm}^4$$

$$W_{x_{ef_MLE}} = 2,52 \text{ cm}^3$$

$$M_{y_{esc}} = \frac{W_{x_{ef}} \cdot F_y}{1,1} = \frac{2,52 \cdot 26}{1,1} = 59,6 \text{ kN.cm} = 0,6 \text{ KN.m}$$

O valor de resistência à flexão no eixo y é o menor valor entre as três, sendo:

$$M_{y_{rd}} = 0,2835 \text{ KN.m}$$

Vale salientar, que os motivos para que o elemento não tenha passado nas verificações por norma, seria que, o Banzo é o perfil com maior comprimento destravado, chegando a 2,03 metros, comprimento esse que afeta diretamente o cálculo de Flambagem lateral por torção entre outros. Logo, as possíveis soluções seriam:

- Diminuir o comprimento destravado: por hipótese obtivemos um L ideal de 1,5 metros, contudo isso causaria maior gasto, tendo em vista que se utilizaria mais Linhas estruturais ou diagonais para criar esses travamentos;
- Outra solução seria a troca do perfil que não atendeu as verificações por norma, por um outro perfil que suporte as solicitações, por hipótese um perfil que resistiria as solicitações seria o perfil 50x25x10x2,65 apresentado pela norma NBR 6355:2003, tendo os cálculos de resistência a flexão no apêndice E, como o elemento apenas resiste a flexão simples foi verificado apenas os momentos no eixo X. O perfil seria ideal apenas por apresentar diferença de espessura ao perfil anterior, sendo validado pelos cálculos normativos, apresenta aumento nas solicitações sobre as linhas estruturais pois seu peso que era de 1,3 kg/m agora com o novo perfil seria de 2,13 kg/m, contudo a verificação com o novo valor de solicitação não causou problema sendo que o perfil para linha estrutural resistiu ao esforços.

6.3 ANÁLISE DO CUSTO E COMPARATIVO

A Empresa AA que fornece os perfis e material para cobertura não realiza o fornecimento do valor detalhado dos matéria envolvidos, apenas o custo total de uma unidade da estrutura conforme já citado. Desse modo, o comparativo passou a ser realizado com valores totais, além do mais, o valor fornecido pela Empresa AA não inclui custo com transporte, tão pouco mão de obra. Para a comparação foram utilizados valores disponíveis na tabela Seinfra para uma cobertura em madeira. A tabela de composição pode ser encontrada abaixo na tabela 15, não levando em consideração custo com transporte e mão de obra.

Logo, o valor da estrutura metálica para uma cobertura fornecida pela empresa AA após compatibilização pela planta baixa fornecida pela Construtora é de 2.323,00 R\$, não levando em conta valor de mão de obra. O valor obtido para uma cobertura em madeira foi o disponível na tabela Seinfra item C1336 como mostrado na tabela 15, não levando em conta a mão de obra.

Tabela 15 - Tabela Seinfra item C1336 de composição do custo para uma cobertura em madeira

Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço	Total
I1495	Madeira (peroba)	M ³	0,025	2.922,83	73,0708
I1724	Prego	KG	0,12	11,26	1,3512
I1161	Ferragens para Telhados	KG	0,18	10,9	1,9620
Total Materiais uni: m²					76,384

Fonte: Site Seinfra (2020). Adaptada.

Para o BDI aplicado sobre os valores obtidos na tabela Seinfra, utilizou-se como base dados fornecidos pelo acordo para TCU de número 2622/2013, que especifica para o tipo de obra em análise um BDI de 11,10% sobre insumos.

Diante do exposto, o cálculo do valor levou em consideração apenas os custos dos materiais da estrutura em madeira, sendo que a residência em estudo tem uma área de 42 m². O valor do custo do material para a estrutura em madeira para telha cerâmica já aplicado valor de BDI é de R\$ 3.564,23, cálculos a baixo.

$$(76,384 \text{ R\$/m}^2 \times 42\text{m}^2) = \text{R\$ } 3.208,128 + 11,10\% = \text{R\$ } 3.564,23$$

Com os valores das duas estruturas, pode-se calcular a diferença de valor entre elas, que é de R\$ 1241,23, essa variação representa 34,82% de diferença do custo da estrutura de aço dobrado comparado a de madeira.

A cerca do tempo de execução, a empresa Construtora informou que levava 2 dias para produzir a mesma estrutura em madeira, o tempo de produção da estrutura em aço dobrado adotada pela Construtora é de 1 dia, sendo a eficiência da estrutura em aço de 50%, comparado aos dados fornecidos pela Construtora.

6.3.1 Análise dos resultados

Mediante os resultados obtidos acerca das diferenças de custos, pode-se observar que a estrutura em aço dobrado se mostrou mais barata em comparação a convencional em madeira, apresentando uma diferença de 34,82%. Contudo, o engenheiro responsável pela edificação, funcionário da empresa Construtora informou que, mesmo o custo do material sendo mais barato, há dificuldades para obtenção de fornecedores próximos da região do empreendimento, devido esse fato o transporte dos materiais acaba encarecendo o produto, como no caso da Empresa AA que é uma fornecedora da cidade de Recife no Pernambuco. Importante salientar que, ao ser questionado sobre a opção pela estrutura mediante essa dificuldade, o mesmo informa que apesar do encarecimento pelo transporte dos materiais, a agilidade na execução acaba por compensar, se tornando uma qualidade que a empresa Construtora busca.

7 CONCLUSÃO

Em vista do apresentado no presente trabalho, podemos observar que a utilização de perfis dobrados substituindo perfis em madeira é uma opção viável, com custos aproximados dos materiais, sendo o perfil em aço mais barato entorno de 34,82% comparado ao de madeira, apresenta vantagens e desvantagens comuns de uma tecnologia em crescimento, tais como, dificuldade de obtenção do material, sendo que a poucos fornecedores dos perfis e materiais da estrutura, assim em muitos casos sendo fornecidos de outros estados, encarecendo com o custo de transporte, outra desvantagem é a mão de obra qualificada, que por ser uma tecnologia e método novo não se tem mão de obra especializada na montagem dessas estruturas, acabando por ser necessário o treinamento da equipe. Das vantagens podemos citar o tempo de execução, que comparado ao fornecido pela Construtora chega entorno a 50% do tempo de execução de uma cobertura em madeira, temos a vantagem da diminuição das solicitações devido ao baixo peso dos elementos em aço, e como já citado o menor custo quanto a materiais, diante de tudo podemos afirmar que o que decidi a escolha são diversos fatores como, geografia, proposta de utilização, diminuição do consumo de madeira, investimento e tempo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 15575: Desempenho de Edificações Habitacionais**. 4 ed. Brasília: ANBT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. 1 ed. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8186**: Ações e Combinações nas Estruturas. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.

ARRUDA, Rinaldo S.V, 1994. Site Socio Ambiental. Disponível em: < <https://img.socioambiental.org/v/publico/rikbaktsa/>> Acesso em: 25 de Agosto de 2019. (1994).

ARAUJO, Sidney R. **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. Monografia, Rio de Janeiro, Ago 2003.

ÁGUIA DO BRASIL. Disponível em:< [http://www. https://aguiaodobrasil.com.br](http://www.https://aguiaodobrasil.com.br) >. Acesso em: 10.nov.2019.

CARM. Disponível em: <http://carm.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Estructuras/Acero/Montajes_industrializados/EAM010_Estructura_metalica_realizada_con_p_2_0_2_0.html>. Acesso em: 01 Dez. 2019.

CÂNDIDO, G.A.; ABREU, A. F. O processo de implantação de novas tecnologias e a busca da sinergia entre indivíduo e organização. **Revista de Ciências da Administração**. V.4, n.8, pag. 1-13, jul/dez. 2002.

CALIL JUNIOR, Carlito; MOLINA, Julio Cesar. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculos**. São Paulo: Pini Ltda, 2010. 214 p.

CONSTRUINDO DECOR. Disponível em: <<http://construindodecor.com.br/como-fazer-um-telhado/>>. Acesso em: 02 Dez. 2019.

COSTA, Enio C.da; **Arquitetura Ecológica: Condicionamento térmico Natural**. São Paulo. Edgard Blücher, 1982.

CURSO TEKLA STRUCTURES. Disponível em: <<https://www.cursoteklastructures.com/pagina-de-produto/cypecad/met%C3%A1licas-3d-2019-c%C3%A1lculo-galp%C3%A3o-em-arco>>. Acesso em: 02 Dez. 2019.

ENG 447. Disponível em: <<http://eng447pontes.blogspot.com/2014/04/equipe-gama-equipe-gama-contem-5.html>>. Acesso em: 01 Dez. 2019.

EXPANSÃO ACADÊMICA., v. 1, n. 6, 2019. Disponível em: <<http://www.expansaoacademica.com>>. Acesso em: 01 out. 2019.

FULCO, Rafael Rodriguez et al. **Ligas Metálicas**. Rio de Janeiro: Maxwell, 2001. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>>. Acesso em: 01 out. 2019.

FONTENELE, Helane Barbosa. **Uso e adequação de tensos estruturas à região Amazônica estudo de caso: Feira do Ver-O-Peso em Belém-Pa**. 2006. 146 f.

GUERRA, Antonio José Teixeira (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 9ª.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

JSI ENGENHARIA. Disponível em: <<http://jsiengenharia.blogspot.com/2017/04/fundamentacao-teorica.html>>. Acesso em: 01 Dez 2019.

LA PASTINA FILHO, José. **Manual de Conservação de telhados**. 1ª Edição. IPHAN, 2005.

LOGSDON, N. B. Variação da densidade aparente da madeira com sua umidade, modelagem teórico experimental. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, SP, ano 4, n. 12, 1CD-ROM, jan/abr. 2002.

MIL CORES PINTURAS. Disponível em: <<http://www.milcorespinturas.com.br/cobertura-de-estrutura-metalica>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de Projetos de Telhados Em Estruturas de Madeira**. 4. ed.: Blucher, 2010.

MPA AUTOMOÇÃO. Disponível em: <<https://www.mpautomacao.com/estruturas/porticos/>>. Acesso em: 01 Dez. 2019.

PASSEI DIRETO. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/63394516/20160827-telhado-camadas>>. Acesso em: 30 Nov. 2019.

PATTON, William John. **Materiais de construção civil para a engenharia civil**. São Paulo: Pedagógica e Universitária Ltda, 1978.

PICASA. Disponível em: < <https://picasaweb.google.com/home>> Acesso em: 25 de Agosto de 2019.

PEDREIRÃO. Disponível em: <<https://pedreiro.com.br/telhas-ceramicas-tipos-e-caracteristicas-passo-a-passo/>>. Acesso em: 02 Dez. 2019.

PROCOMET. Disponível em: <<https://www.procomet.com.br/post/2017/05/25/galp%C3%A3o-de-estrutura-met%C3%A1lica>>. Acesso em: 02 Dez. 2019.

RABELO, Cristina Alves. DESASTRES AMBIENTAIS PROVOCADOS POR RESÍDUOS INDUSTRIAIS: NOS CASOS CIDADE DOS MENINOS (RJ) E THE LOVE CANAL (EUA),v.12,n.1,18 set. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/constituicaoegarantiadedireitos/article/view/17499/12063>>. Acesso em: 01 out. 2019.

SAVI, Adriane Cordoni. **TELHADOS VERDES: ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO COM SISTEMAS TRADICIONAIS DE COBERTURA**. 2012. 128 f.

Monografia (Especialização) - Curso de Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTOS, Elaine Cristina Oliveira Batista; CHAVES JÚNIOR, Juliano Moura. **MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ECOLÓGICOS. ESTUDO DE CASO: TIJOLOS ECOLÓGICOS COMPARADOS A TIJOLOS CERÂMICOS.** 2019. 78 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, UnievangÉlica, AnÁpolis / Go, 2018. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/867/1/20182_TCC_Elaine_Juliano.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

Seinfra. Disponível em:< <https://sites.seinfra.ce.gov.br/siproce/onerada/html/C1336.html?a=1545419703417>>. Acesso em: 28 março de 2020.

SERRALHERIA CASA DAS ARTES. Disponível em:< <https://www.serralheriacasadasartes.com.br> >. Acesso em: 15.set.2019.

SILVA, Edson Lubas; PIERIN, Igor; SILVA, Valdir Pignatta e. **ESTRUTURAS COMPOSTAS POR PERFIS FORMADOS A FRIO.** Rio de Janeiro: ., 2014.

SOUZA, Marcos Roberto de; VARGAS, Alexandre. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS SOFTWARES COMERCIAIS PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.** 2014. 19 f. Artigo (Graduação) - Curso de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2987/1/Marcos%20Roberto%20de%20Souza%20-%20Prof%20Alexandre%20Vargas%20.pdf;Marcos>>. Acesso em 02 Dez. 2019.

TREASY. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/planilha-de-orcamento/>>. Acesso em: 02 Dez. 2019.

MULTIPLUS. Disponível em: <<https://multiplus.com/software/cypecad/>>. Acesso em: 02 Dez. 2019.

TURMANL, Jacques (Org.). **Coberturas projeto e detalhamentos construtivos.** São Paulo: J.J Carol, 2013.

WIKIWAND. Disponível em: <[https://www.wikiwand.com/pt/Tesoura_\(constru%C3%A7%C3%A3o\)](https://www.wikiwand.com/pt/Tesoura_(constru%C3%A7%C3%A3o))>. Acesso em: 02 Dez. 2019.

X-TREME. Disponível em: <<https://www.x-tremegroup.com/es/pistas-deportivas/cubiertas2/item/579-portico-curvo-seccion-variable>>. Acesso em: 01 Dez. 2019.

ZANUR, Fernando, 2007. Site Socio Ambiental. Disponível em: <
<https://www.flickr.com/photos/fernandozarur/489352535>> Acesso em: 25 de Agosto
de 2019.

APÊNDICE A – CÁLCULOS DE COMBINAÇÕES

Telha: $57,6 \text{ kg/m}^2 * 9,807 \text{ m/s} = 564,88 \text{ N/m}^2 * 1/1000 = 0,565 \text{ KN/m}^2 * 0,36 \text{ m}$
 $= 0,2 \text{ KN/ml}$

0,36 m = espaçamento entre ripas.

SC = SCmin + SU: SCmin= 0,25 KN/m² por norma NBR 8800, SU = 0,05 kn/m²
 $= 0,3 \text{ KNm}^2 * 0,36 \text{ m} = 0,1 \text{ kn/ml}$.

A.1 COMBINAÇÕES

- Ripa:

$$P_p = 0,612 \text{ kg/m} * 9,807 \text{ m/s} = 6 \text{ N/m} * 1/1000 = 0,006 \text{ KN/ml}$$

$$C_p = 0,2147 \text{ KN/ml}$$

$$S_c = 0,114 \text{ KN/ml}$$

$$F_{d1} = 1,25 P_p + 1,35 C_p = 1,25 * 0,006 + 1,35 * 0,2 = 0,29 \text{ KN/ml}$$

$$F_{d2} = 1,25 P_p + 1,35 C_p + 1,50 S_c = 1,25 * 0,006 + 1,35 * 0,2 + 1,5 * 0,1 = 0,427 \text{ KN/ml}$$

$$F_{d3} = 1,25 P_p + 1,35 C_p = 1,25 * 0,006 + 1,35 * 0,21 = 0,29 \text{ KN/ml}$$

$$F_{d4} = 1,0 P_p + 1,0 C_p = 1,0 * 0,006 + 1,0 * 0,21 = 0,2 \text{ KN/ml}$$

$$F_{d5} = 1,25 P_p + 1,35 C_p + 1,50 S_c = 1,25 * 0,006 + 1,35 * 0,2 + 1,5 * 0,1 = 0,427 \text{ KN/ml}$$

$$F_{d6} = 1,25 P_p + 1,35 C_p + 1,50 (0,8 \cdot S_c) = 1,25 * 0,006 + 1,35 * 0,2 + 1,5 * (0,8 * 0,1) =$$

0,4 KN/ml

- Banzo (caibro)

$$P_p = 1,30 * 9,807 \text{ m/s} = 12,75 \text{ N/m} * 1/1000 = 0,013 \text{ KN/ml} * 1,25 = 0,0163$$

KN/ml

- Linha estrutural (terça)

$$P_p = 1,30 * 9,807 \text{ m/s} = 12,75 \text{ N/m} * 1/1000 = 0,013 \text{ KN/ml} * 1,25 = 0,0163$$

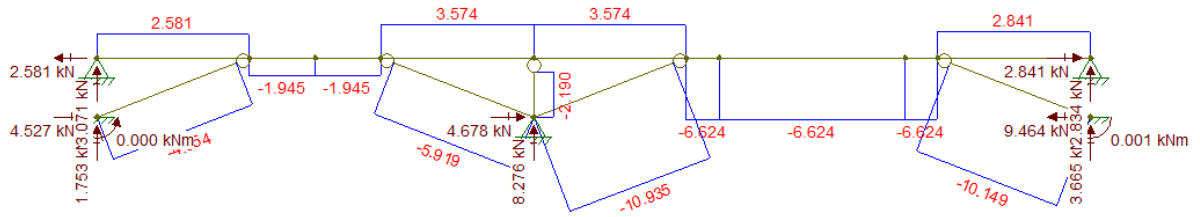
KN/ml

APÊNDICE B – GRÁFICOS E SOLICITAÇÕES OBTIDOS PELO FTOOL

B.1 GRÁFICOS DAS LINHAS ESTRUTURAIS

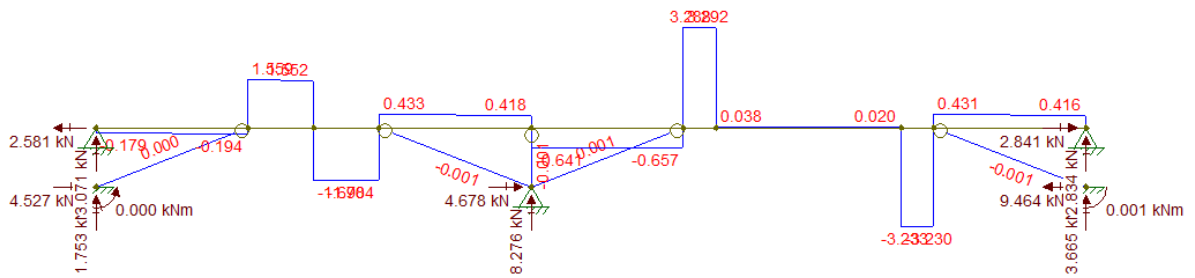
- Linha 02

Gráfico esforço normal.



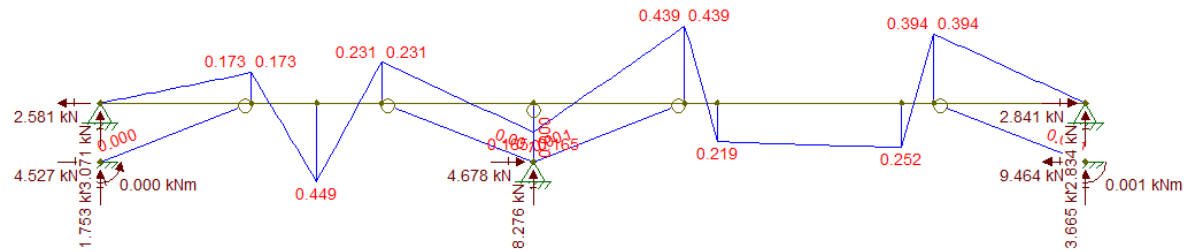
Fonte: Ftool, 2020.

Gráfico esforço cortante.



Fonte: Ftool, 2020.

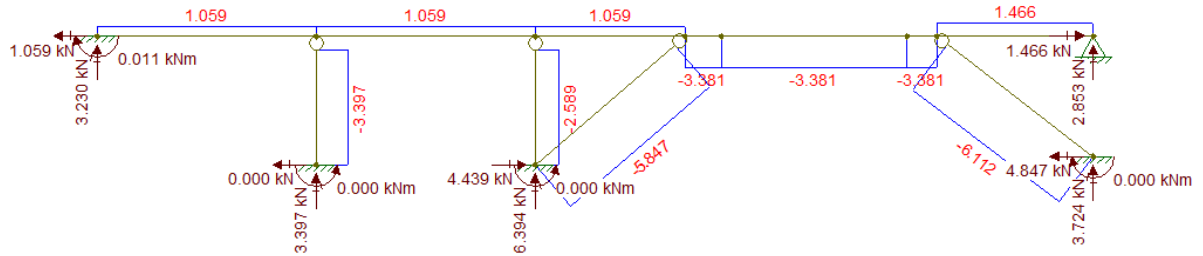
Gráfico momento fletor.



Fonte: Ftool, 2020.

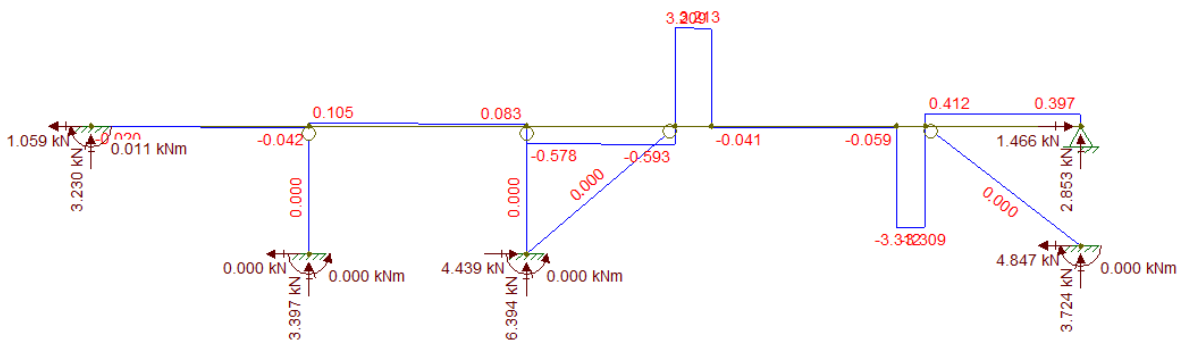
• Linha 01

gráfico esforço normal.



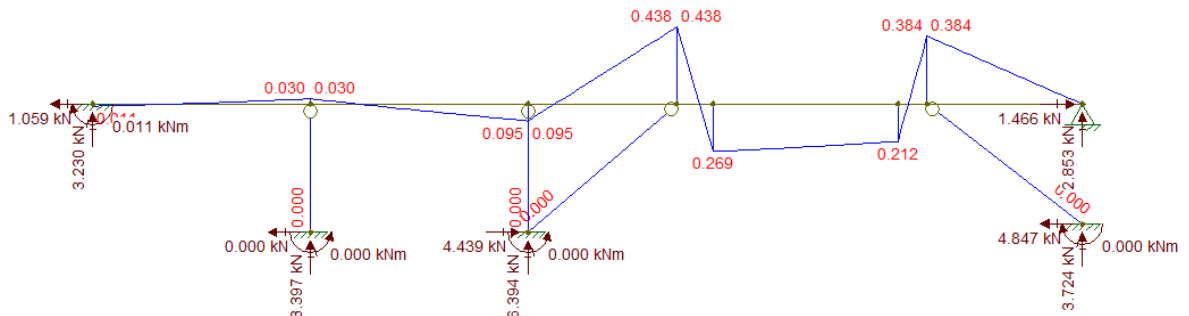
Fonte: Ftool, 2020.

Gráfico esforço cortante.



Fonte: Ftool, 2020.

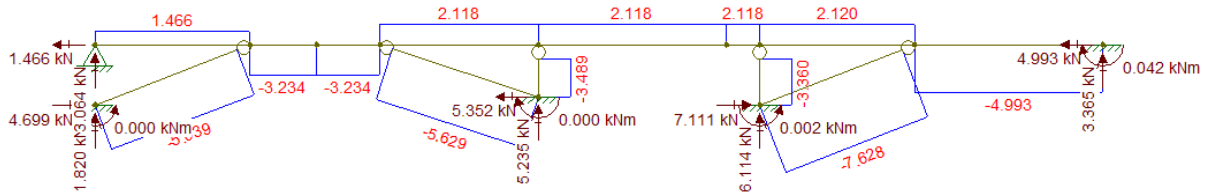
Gráfico momento fletor.



Fonte: Ftool, 2020.

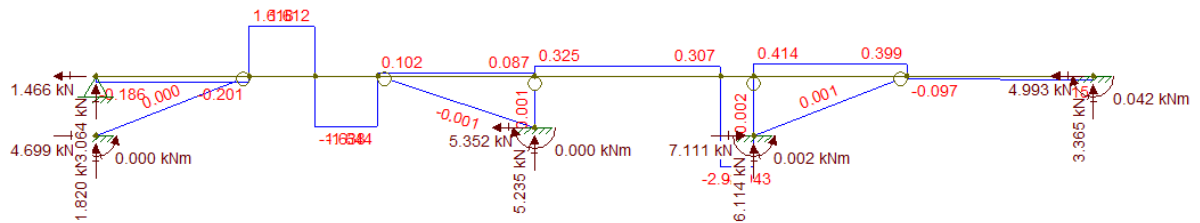
• Linha 03

Gráfico esforço normal.



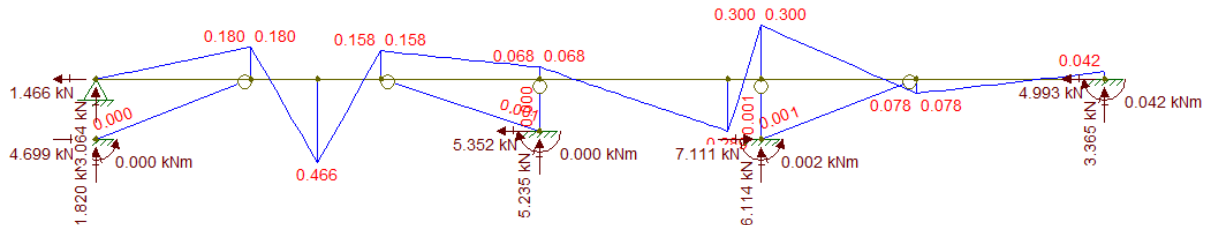
Fonte: Ftool, 2020.

Gráfico esforço cortante.



Fonte: Ftool, 2020.

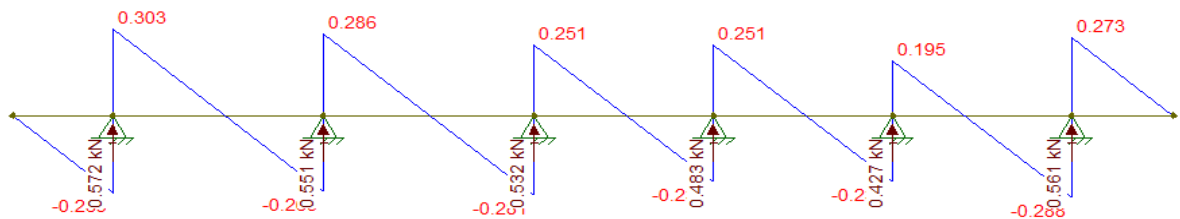
Gráfico momento fletor.



Fonte: Ftool, 2020.

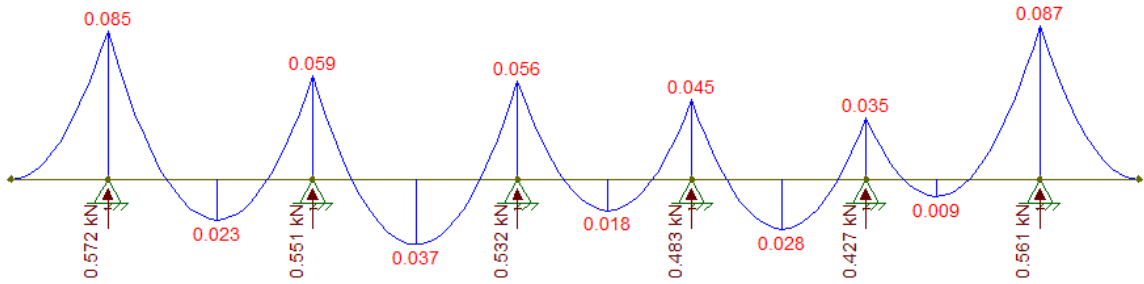
B.2 GRÁFICOS DOS ELEMENTOS DE RIPA

Gráfico esforço cortante.



Fonte: Ftool, 2020.

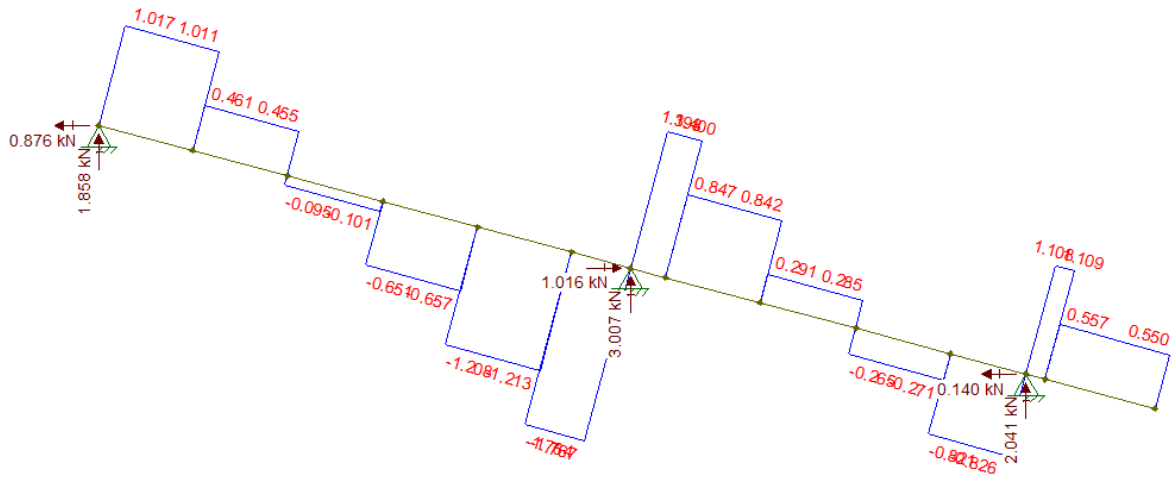
Gráfico do momento fletor.



Fonte: Ftool, 2020.

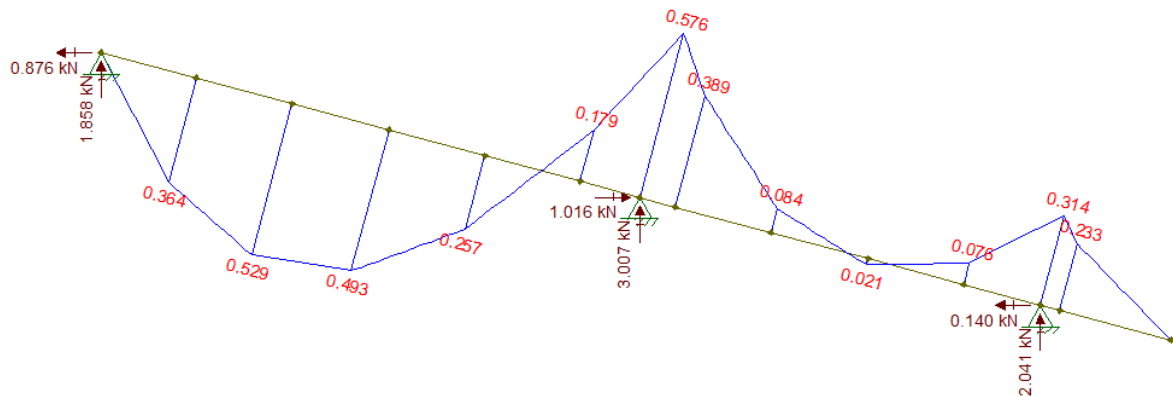
B.3 GRÁFICOS DOS ELEMENTOS DE BANZO (CAIBROS)

Gráfico esforço cortante.



Fonte: Ftool, 2020.

Gráfico de momento fletor.



Fonte: Ftool, 2020.

APÊNDICE C – CÁLCULOS DE RESISTÊNCIAS PARA PERFIL Ue 50X25X10X1,5

C.1 BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO CENTRADA

- Barras submetidas à compressão centrada, modelo especificado no item 5.5.6 desse trabalho.

Cálculo N_e :

$$L_x = 100 \text{ cm} \quad L_y = 100 \text{ cm} \quad L_t = 100 \text{ cm}$$

$$r_0 = 3,04 \text{ cm} \quad x_0 = 2,13 \text{ cm} \quad y_0 = 0 \text{ cm}$$

$$I_x = 6,32 \text{ cm}^4 \quad I_y = 1,46 \text{ cm}^4 \quad I_t = 0,01 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 9,62 \text{ cm}^6 \quad A = 1,65 \text{ cm}^2$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 6,32}{(100)^2} = 124,75 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 1,46}{(100)^2} = 28,82$$

$$N_{ez} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{(K_z L_z)^2} + G \cdot I_t}{(r_0)^2} = \frac{\frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 9,62}{(100)^2} + 7700 \cdot 0,01}{(3,04)^2} = 28,88 \text{ kN}$$

Perfil monossimétrico: em relação ao eixo X

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left(1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right)} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} \cdot N_{ez} \left(1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right)}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right) = \frac{124,75 + 28,88}{2 \left(1 - \left(\frac{2,13}{3,04} \right)^2 \right)}$$

$$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4.124,75.28,88 \left(1 - \left(\frac{2,13}{3,04} \right)^2 \right)}{(124,75 + 28,88)^2}} \right) = 25,63 \text{ kN}$$

Ne= menor valoare entre Nex e Nexz = 25,63 kN

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot F_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,65 \cdot 26}{25,63}} = 1,29$$

$\lambda_0 < 1,5$ usasse tabela 8 – norma 14762:2010

Tabela 16 - Valores de χ em função do índice de esbeltez reduzido λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

Fonte: NBR14762, pg 39, (2010).

$\chi = 0,498$

calculo NI

$$\eta = \frac{bt}{bw} = \frac{2,5}{5} = 0,5$$

Tabela 17 - Valores do coeficiente de flambagem local K_l para barras sob compressão centrada

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola	Seção rack	Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

NOTA 1 b_f , b_w , b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para o caso b, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$.

NOTA 3 Para o caso c, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ e $0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4$.

NOTA 4 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

Fonte: NBR14762, pg 41, (2010).

$$K_l = 5,4$$

$$N_l = K_l \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \cdot A = 5,4 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{5}{0,15}\right)^2} \cdot 1,65 = 144,95$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi \cdot A \cdot F_y}{N_l}} = \sqrt{\frac{0,498 \cdot 1,65 \cdot 26}{144,95}} = 0,384$$

$$A_{ef} \text{ para } \lambda_p < 0,776 = A_{ef} = A$$

$$N_c, R_d = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot F_y}{1,2} = \frac{0,498 \cdot 1,65 \cdot 26}{1,2} = 17,8 \text{ KN}$$

C.2 CÁLCULO DE FLEXÃO

C.2.1 Momento no eixo x

- Barras submetidas à Flexão, segue o especificado no item 5.5.7 desse trabalho.

Flambagem distorcional.

Valor de M_{distx} obtido no anexo 1 de cargas críticas

$$M_{dist} = 451 \text{ kN.cm}$$

$$I_x = 6,31 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 2,52 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{\text{dist}} = \sqrt{\frac{W_x F_y}{M_{\text{dist}}}} = \sqrt{\frac{2,52 \cdot 26}{451}} = 0,3815$$

$$\lambda_{\text{dist}} = < 0,673 \text{ temos } \chi_{\text{dist}} = 1$$

$$M_{\text{yrdist}} = \frac{\chi_{\text{dist}} \cdot W_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{1 \cdot 2,52 \cdot 26}{1,1} = 59,56 \text{ KN} \cdot \text{cm} = 0,6 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Flambagem lateral com torção.

$$M_{\text{yflt}} = \frac{\chi_{\text{FLT}} \cdot W_c \cdot e_f \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,91 \cdot 2,52 \cdot 26}{1,1} = 54,2 \text{ Kn} \cdot \text{cm} = 0,54 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{\text{FLT}} \cdot W_x \cdot F_y}{M_I}} = \sqrt{\frac{0,91 \cdot 2,52 \cdot 26}{766,6}} = 0,278$$

para $\lambda_p < 0,673$ temos $W_{c,fe} = W_c$

$$M_I = K_I \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \cdot W_x = 18,7 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{5}{0,15}\right)^2} \cdot 2,52 = 766,6$$

Tendo $K_I = 18,7$ na tabela 19

Tabela 18 - Valores do coeficiente de flambagem local k_I da seção completa

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b			Caso c
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido e Seção Z enrijecido			Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
		$\mu \leq 0,2$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,3$	
0,2	18,4	32,0	25,8	21,2	31,0
0,3	9,6	29,3	23,8	19,7	28,9
0,4	5,6	24,8	20,7	18,2	25,6
0,5	3,6	18,7	17,6	16,0	19,5
0,6	2,6	13,6	13,3	13,0	14,2
0,7	1,9	10,2	10,1	10,1	10,6
0,8	1,5	7,9	7,9	7,9	8,2
0,9	1,2	6,2	6,3	6,3	6,6
1,0	1,0	5,1	5,1	5,1	5,3

NOTA 1 b_f , b_w e D são a largura nominal da mesa, da alma e do enrijecedor de borda, respectivamente.

NOTA 2 $\mu = D/b_w$.

NOTA 3 Para valores intermediários interpolar linearmente.

Fonte: NBR14762, pg 47, (2010).

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_x \cdot F_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{2,52 \cdot 26}{102,6}} = 0,8$$

Perfil monossimétrico

$$\begin{aligned}
 L_x &= 133 \text{ cm} & L_y &= 133 \text{ cm} \\
 L_t &= 133 \text{ cm} & r_0 &= 3,03 \text{ cm} \\
 x_0 &= 2,12 \text{ cm} & y_0 &= 0 \text{ cm} \\
 I_w &= 9,92 \text{ cm}^6 \\
 I_x &= 6,31 \text{ cm}^4 & I_y &= 1,46 \text{ cm}^4 \\
 I_t &= 0,01 \text{ cm}^4 \\
 N_{ex} &= 70,42 \text{ kN} \\
 N_{ey} &= 16,29 \text{ kN} \\
 N_{ez} &= 21,21 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ex}} = 1,3,03 \cdot \sqrt{16,29 \cdot 70,42} = 102,6$$

$$\text{Para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \text{ temos } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot 0,8^2) = 0,91$$

- Início de escoamento da seção efetiva.

Método das Larguras Efetivas

$$\sigma = 26 \text{ kN/cm}^2$$

máxima coordenada $Y = 2,5 \text{ cm}$ (fibra comprimida)

$$I_{x_{ef}} = 6,31 \text{ cm}^4$$

$$W_{x_{ef_MLE}} = 2,52 \text{ cm}^3$$

$$M_{y_{esc}} = \frac{W_{x_{ef}} \cdot F_y}{1,1} = \frac{2,52 \cdot 26}{1,1} = 59,6 \text{ kN.cm} = 0,6 \text{ KN.m}$$

O valor resistência adotado à flexão no eixo y é o menor valor entre as três, sendo:

$$M_{yrd} = 0,54 \text{ KN.m}$$

C.2.2 Momento no eixo y

A Flambagem distorcional não é crítica para esse perfil, sendo o eixo Y de maior inercia.

- Flambagem lateral com torção.

$$M_{xfl} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{c,ef} \cdot F_y}{1,1} = \frac{1,0 \cdot 93,26}{1,1} = 22 \text{ Kn. cm} = 0,22 \text{ KN. m}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{FLT} \cdot W_y \cdot F_y}{M_I}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 93,26}{282,93}} = 0,29$$

para $\lambda_p < 0,673$ temos $W_{c,fe} = W_y$

$$M_I = K_I \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \cdot W_y = 18,7 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{5}{0,15}\right)^2} \cdot 0,93 = 282,93$$

Tendo $K_I = 18,7$ consultado na tabela 19 do item C.2.1.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_y \cdot F_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{0,93 \cdot 26}{102,6}} = 0,49$$

Perfil monossimétrico

$$L_x = 133 \text{ cm} \quad L_y = 133 \text{ cm}$$

$$L_t = 133 \text{ cm} \quad r_0 = 3,03 \text{ cm}$$

$$x_0 = 2,12 \text{ cm} \quad y_0 = 0 \text{ cm}$$

$$I_w = 9,92 \text{ cm}^6$$

$$I_x = 6,31 \text{ cm}^4 \quad I_y = 1,46 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 0,01 \text{ cm}^4$$

$$N_{ex} = 70,42 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = 16,29 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = 21,21 \text{ kN}$$

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ex}} = 1,3 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{16,29 \cdot 70,42} = 102,6$$

Para $\lambda_0 < 0,6$ temos $\chi_{FLT} = 1,0$

- Início de escoamento da seção efetiva.

Método das Larguras Efetivas

$$\sigma = 26 \text{ kN/cm}^2$$

máxima coordenada $Y = 2,5 \text{ cm}$ (fibra comprimida)

$$I_{x,ef} = 6,31 \text{ cm}^4$$

$$W_{x,ef_MLE} = 2,52 \text{ cm}^3$$

$$M_{x,esc} = \frac{W_{x,ef} \cdot F_y}{1,1} = \frac{2,52 \cdot 26}{1,1} = 59,6 \text{ kN. cm} = 0,6 \text{ KN. m}$$

O valor resistência adotado à flexão no eixo x é o menor valor entre as três, sendo:

$$M_{xrd} = 0,22 \text{ KN.m}$$

C.2.4 Cortante

Força Cortante, como especificado no item 5.5.9 desse trabalho.

$$V_{rd} = \frac{0,6.F_y.h.t}{1,1} = \frac{0,6.26.4,4.0,15}{1,1} = 9,36 \text{ KN}$$

$$h = 4,4 \text{ cm}$$

$$a = 100$$

$$a/h = 22,7 > 3$$

$$k_v = 5$$

$$h/t = 29,33$$

$$1,08 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot K_v}{F_y}} = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{20000 \cdot 5}{26}} = 66,98$$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{100}{4,4}\right)^2} = 5$$

$$h/t \leq 1,08(E \cdot k_v / f_y)^{0,5}$$

APÊNDICE D – CÁLCULOS DE RESISTÊNCIAS PARA PERFIL Ui 30X20X10X0,95

D.1 CÁLCULO DE FLEXÃO

D.1.1 Momento no eixo x

Barras submetidas à Flexão Simples, como especificado no item 5.5.7 desse trabalho.

- Flambagem distorcional.

Valor de M_{distx} obtido no anexo 1 de cargas críticas

$$M_{dist} = 456,72 \text{ kN.cm}$$

$$I_x = 1,83 \text{ cm}^4$$

$$W_b = 0,7 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{\text{dist}} = \sqrt{\frac{W_x \cdot F_y}{M_{\text{dist}}}} = \sqrt{\frac{0,7 \cdot 26}{456,72}} = 0,199$$

$$\lambda_{\text{dist}} = < 0,673 \text{ temos } \chi_{\text{dist}} = 1$$

$$M_{\text{yrdist}} = \frac{\chi_{\text{dist}} \cdot W_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{1,0 \cdot 7,26}{1,1} = 16,55 \text{ KN.cm} = 0,17 \text{ KN.m}$$

- Flambagem lateral com torção.

$$M_{\text{yflt}} = \frac{\chi_{\text{FLT}} \cdot W_c \cdot e_f \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,89 \cdot 0,7 \cdot 26}{1,1} = 14,72 \text{ Kn.cm} = 0,15 \text{ KN.m}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{\text{FLT}} \cdot W_x \cdot F_y}{M_I}} = \sqrt{\frac{0,89 \cdot 0,7 \cdot 26}{4046,95}} = 0,06$$

$$\text{para } \lambda_p < 0,673 \text{ temos } W_{c,fe} = W_c$$

$$M_I = K_I \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \cdot W_x = 10,1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{3}{0,095}\right)^2} \cdot 0,7 = 4046,95$$

Tendo $K_I = 10,1$ na tabela 19 do item C.2.1

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_x \cdot F_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{0,7 \cdot 26}{25,82}} = 0,84$$

Cálculo M_e

$$C_b = 1$$

Perfil monossimétrico

$$L_x = 133 \text{ cm}$$

$$L_y = 133 \text{ cm}$$

$$L_t = 133 \text{ cm}$$

$$r_0 = 2,34 \text{ cm}$$

$$x_0 = 1,63 \text{ cm}$$

$$y_0 = 0 \text{ cm}$$

$$I_w = 0,4871076877962253 \text{ cm}^6$$

$$I_x = 1,83 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 0,53 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 0 \text{ cm}^4$$

$$N_{ex} = 20,47 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = 5,95 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = 4,49 \text{ kN}$$

$$M_e = C_b \cdot r_0 \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{ex}} = 1.2,34 \cdot \sqrt{5,95 \cdot 20,47} = 25,82$$

$$\text{Para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \text{ temos } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot 0,84^2) = 0,89$$

- Início de escoamento da seção efetiva.

Método das Larguras Efetivas

$$\sigma = 26 \text{ kN/cm}^2$$

máxima coordenada $Y = 2,61 \text{ cm}$ (fibra comprimida)

$$I_{xef} = 1,83 \text{ cm}^4$$

$$W_{xef_MLE} = 0,7 \text{ cm}^3$$

$$M_{yesc} = \frac{W_{xef} \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,7 \cdot 26}{1,1} = 16,54 \text{ kN.cm} = 0,17 \text{ KN.m}$$

O valor de resistência adotado à flexão no eixo y é o menor valor entre as três, sendo:

$$M_{yrd} = 0,15 \text{ KN.m}$$

D.1.2 Momento no eixo y

A Flambagem distorcional não é crítica para esse perfil em relação ao eixo Y .

- Flambagem lateral com torção.

$$M_{xflt} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{c,ef} \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,5 \cdot 0,5 \cdot 26}{1,1} = 6 \text{ Kn. cm} = 0,06 \text{ KN. m}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{FLT} \cdot W_y \cdot F_y}{M_I}} = \sqrt{\frac{0,37 \cdot 0,5 \cdot 26}{91,5}} = 0,229$$

para $\lambda_p < 0,673$ temos $W_{c,fe} = W_y$

$$M_I = K_I \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \cdot W_y = 10,1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{3}{0,095}\right)^2} \cdot 0,5 = 91,5$$

Tendo $K_I = 10,1$, verificado na tabela 19 do item C.2.1

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_y \cdot F_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 26}{4,81}} = 1,64$$

Cálculo M_e - Anexo E NBR 17462:2010

$$I_y = 0,53 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 0,5 \text{ cm}^3$$

$$L_x = 133 \text{ cm}$$

$$L_y = 133 \text{ cm}$$

$$L_t = 133 \text{ cm}$$

$$r_0 = 2,34 \text{ cm}$$

$$x_0 = -1,63 \text{ cm}$$

$$y_0 = 0 \text{ cm}$$

$$r_x = 1,48 \text{ cm}$$

$$r_y = 0,8 \text{ cm}$$

$$I_t = 0 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 0,53 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 1,83 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 0,49 \text{ cm}^6$$

$$A = 0,83 \text{ cm}^2$$

$$N_{ex} = 20,47 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = 5,95 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = 4,49 \text{ kN}$$

$$C_b = 1$$

Seção Monossimétrica

$$M_1 = -1 \text{ kN.cm}$$

$$M_2 = 1 \text{ kN.cm}$$

$$C_m = 1$$

Compressão na coordenada positiva de x

$$C_s = -1$$

$$j = 2,45$$

$$M_e = 4,81 \text{ kN.cm}$$

máxima coordenada $X = 1,07 \text{ cm}$ (fibra comprimida)

$$I_y = 0,53 \text{ cm}^4$$

$W_{yc} = 0,5 \text{ cm}^3$ - W_{yc} perfil bruto

$$\lambda_0 = 1,64$$

$$\lambda_0 > 1,336$$

$$X = 0,37$$

Método das Larguras Efetivas

$$\sigma = 9,62 \text{ kN/cm}^2$$

máxima coordenada $X = 1,07$ cm (fibra comprimida)

$$I_{x_ef_MLE} = 0,53 \text{ cm}^4$$

$$W_{xcef_MLE} = 0,5 \text{ cm}^3$$

$$W_{cef} = 0,5 \text{ cm}^3$$

Início de escoamento da seção efetiva.

Método das Larguras Efetivas

$$\sigma = 26 \text{ kN/cm}^2$$

máxima coordenada $Y = 2,5$ cm (fibra comprimida)

$$I_{xef} = 0,53 \text{ cm}^4$$

$$W_{xef_MLE} = 0,5 \text{ cm}^3$$

$$M_{xesc} = \frac{W_{yef} \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,5 \cdot 26}{1,1} = 12 \text{ kN.cm} = 0,12 \text{ KN.m}$$

O valor de resistência à flexão no eixo y é o menor valor entre as três, sendo:

$$M_{xrd} = 0,06 \text{ KN.m}$$

D.1.4 Cortante

Força Cortante [NBR 14762:2010 - 9.8.3]

$$V_{rd} = \frac{0,6 \cdot F_y \cdot h \cdot t}{1,1} = \frac{0,6 \cdot 26 \cdot 2,62 \cdot 0,095}{1,1} = 3,53 \text{ KN}$$

$$h = 2,62 \text{ cm}$$

$$a = 133$$

$$a/h = 50,76 > 3$$

$$k_v = 5$$

$$h/t = 27,58$$

$$1,08 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{20000 \cdot 5}{26}} = 66,98$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{100}{4,4}\right)^2} = 5$$

$$h/t \leq 1,08(E \cdot k_v / f_y)^{0,5}$$

APENDICE E – CÁLCULO DO PERFIL SOLUÇÃO PARA BANZO (CAIBRO) Ue 50X20X10X2,65

E.1 CÁLCULO FLEXÃO

E.1.1 Momento no eixo X

Barras submetidas à Flexão Simples, como especificado no item 5.5.7

- Flambagem distorcional.

Valor de M_{distx} obtido no anexo 1 de cargas críticas

$$M_{dist} = 1562 \text{ kN.cm}$$

$$I_x = 9,67 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 3,87 \text{ cm}^3$$

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{W_x F_y}{M_{dist}}} = \sqrt{\frac{3,87 \cdot 26}{1562}} = 0,253$$

$$\lambda_{dist} = < 0,673 \text{ temos } \chi_{dist} = 1$$

$$M_{yrdist} = \frac{\chi_{dist} \cdot W_x \cdot F_y}{1,1} = \frac{1 \cdot 3,87 \cdot 26}{1,1} = 91,47 \text{ KN.cm} = 0,915 \text{ KN.m}$$

- Flambagem lateral com torção.

$$M_{yflt} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{c,ef} \cdot F_y}{1,1} = \frac{0,69 \cdot 3,87 \cdot 26}{1,1} = 63,12 \text{ Kn. cm} = 0,63 \text{ KN. m}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\chi_{FLT} \cdot W_x \cdot F_y}{M_I}} = \sqrt{\frac{0,69 \cdot 3,87 \cdot 26}{3674,611}} = 0,137$$

para $\lambda_p < 0,673$ temos $W_{c,fe} = W_c$

$$M_I = K_I \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} \cdot W_x = 18,7 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20000}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot \left(\frac{5}{0,265}\right)^2} \cdot 3,87 = 3674,611$$

Tendo $K_I = 18,7$, verificado na tabela 19 do item C.2.1

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_x \cdot F_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{3,87 \cdot 26}{73,91}} = 1,17$$

Cálculo M_e

$$C_b = 1$$

Perfil monossimétrico

$$L_x = 203 \text{ cm}$$

$$L_y = 203 \text{ cm}$$

$$L_t = 203 \text{ cm}$$

$$r_0 = 2,85 \text{ cm}$$

$$x_0 = 1,95 \text{ cm}$$

$$y_0 = 0 \text{ cm}$$

$$I_w = 11.578421824692764 \text{ cm}^6$$

$$I_x = 9,67 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2,1 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 0,06 \text{ cm}^4$$

$$N_{ex} = 46,32 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = 10,07 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = 66,68 \text{ kN}$$

$$M_e = 73,91 \text{ KN.cm}$$

Para $0,6 < \lambda_0 < 1,336$ temos $\chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278\lambda_0^2) = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot 1,17^2) = 0,69$

- Início de escoamento da seção efetiva.

Método das Larguras Efetivas

$$\sigma = 26 \text{ kN/cm}^2$$

máxima coordenada $Y = 2,5 \text{ cm}$ (fibra comprimida)

$$I_{xef} = 9,67 \text{ cm}^4$$

$$W_{xef_MLE} = 3,87 \text{ cm}^3$$

$$M_{yesc} = \frac{W_{xef} \cdot F_y}{1,1} = \frac{3,87 \cdot 26}{1,1} = 91,47 \text{ kN.cm} = 0,92 \text{ KN.m}$$

O valor de resistência à flexão no eixo y é o menor valor entre as três, sendo:

$$M_{yrd} = 0,63 \text{ KN.m}$$

ANEXO 1 – tabela de carga critica

Perfil	NL	MLx	Ndist	Mdistx	Mdisty	MLy
U50x25x0x1,2	36,36	76	nc	nc	nc	70
U50x25x0x1,5	70,77	148	nc	nc	nc	137
U50x25x0x2	167,75	348	nc	nc	nc	322
U50x25x0x2,25	238,02	495	nc	nc	nc	457
U50x25x0x2,65	387,52	806	nc	nc	nc	743
U50x25x0x3	560,29	1163	nc	nc	nc	1069
Crz30x20x12x0,95	71,07	59,64	nc	456,72	nc	78,99
Crz30x20x12x1,25	165,18	139,3	nc	791,03	nc	184,23
Crz30x20x12x1,55	317,77	268,34	nc	1209,16	nc	354,52
Crz30x20x12x2,3	1029,7	877,23	nc	2594,16	nc	1155,38
Crz30x20x12x2,7	1634,8	1414,68	nc	3519,83	nc	1845,49
Crz30x21x13x0,32	2,03	1,92	nc	47,02	nc	2,16
Crz30x21x13x0,38	3,61	3,41	nc	68,72	nc	3,84
Crz30x21x13x0,43	5,43	5,12	nc	89,87	nc	5,76
Crz30x21x13x0,5	9,4	8,28	nc	122	nc	10,51
Crz30x21x13x0,65	20,5	19,36	nc	215,26	nc	21,78
Crz75x21x10x0,43	1,55	1,74	nc	nc	34,56	20,78
Crz75x21x10x0,5	2,53	2,84	nc	nc	48,39	33,94
Crz75x21x10x0,65	5,87	6,56	nc	nc	86,45	78,53
Crz75x21x10x0,8	11,29	12,65	nc	nc	136,47	151,06
Crz75x21x10x0,95	19,33	21,62	nc	nc	198,95	258,18

Fonte: Site calculista de aço, (2020).

ANEXO 2 – valores de χ em função do índice de esbeltez reduzido λ_0

Tabela 8 — Valores de χ em função do índice de esbeltez reduzido λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

Fonte: NBR14762, pg 39, (2010).

ANEXO 3 - valores do coeficiente de flambagem local k_l para barras sob compressão centrada

Tabela 10 — Valores do coeficiente de flambagem local k_ℓ para barras sob compressão centrada

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e Seção cartola	Seção rack	Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

NOTA 1 b_f , b_w , b_s e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.

NOTA 2 Para o caso b, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$.

NOTA 3 Para o caso c, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ e $0,1 \leq b_f/b_w \leq 0,4$.

NOTA 4 Para valores intermediários, interpolar linearmente.

Fonte: NBR14762, pg 41, (2010).

ANEXO 4 - valores do coeficiente de flambagem local k_f da seção completa

Tabela 13 — Valores do coeficiente de flambagem local k_f da seção completa em barras sob flexão simples em torno do eixo de maior inércia

$\eta = b_f / b_w$	Caso a	Caso b			Caso c
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido e Seção Z enrijecido			Seção tubular retangular (solda de costura contínua)
		$\mu \leq 0,2$	$\mu = 0,25$	$\mu = 0,3$	
0,2	18,4	32,0	25,8	21,2	31,0
0,3	9,6	29,3	23,8	19,7	28,9
0,4	5,6	24,8	20,7	18,2	25,6
0,5	3,6	18,7	17,6	16,0	19,5
0,6	2,6	13,6	13,3	13,0	14,2
0,7	1,9	10,2	10,1	10,1	10,6
0,8	1,5	7,9	7,9	7,9	8,2
0,9	1,2	6,2	6,3	6,3	6,6
1,0	1,0	5,1	5,1	5,1	5,3

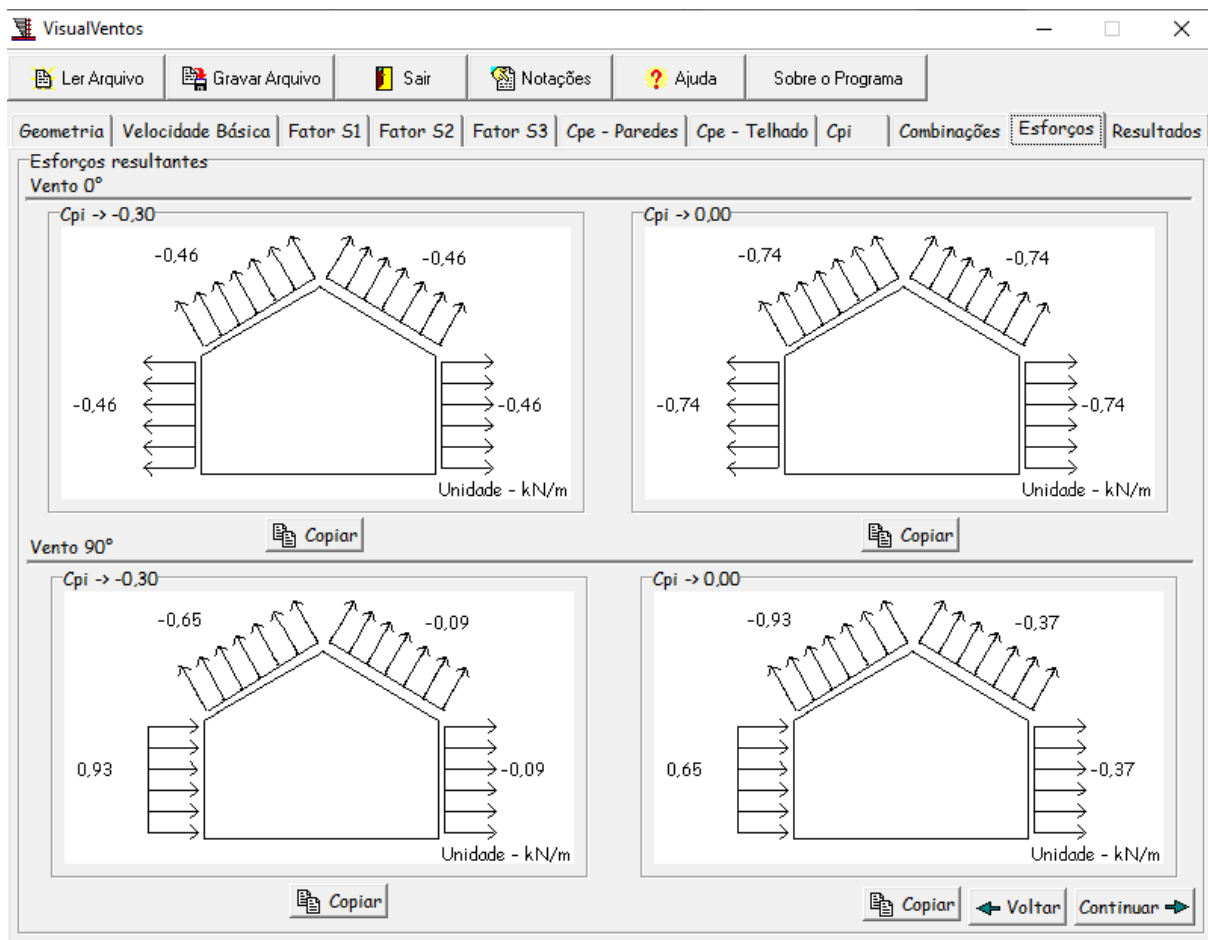
NOTA 1 b_f , b_w e D são a largura nominal da mesa, da alma e do enrijecedor de borda, respectivamente.

NOTA 2 $\mu = D/b_w$.

NOTA 3 Para valores intermediários interpolar lineamente.

Fonte: NBR14762, pg 47, (2010).

ANEXO 5 – valores obtidos pelo VisualVentos



Fonte: VisualVentos, 2020.