

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI – COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KLAUS STRASSBURG

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E FUNCIONAL DE TRELIÇAS  
APLICADAS A ARMAZÉNS GRANELEIROS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2018

KLAUS STRASSBURG

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E FUNCIONAL DE TRELIÇAS  
APLICADAS A ARMAZÉNS GRANELEIROS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Marcos Kolling

Co-orientador: Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim

TOLEDO

2018



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Toledo  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 132

### **Análise da viabilidade técnica e funcional de treliças aplicadas a armazéns graneleiros**

por

**Klaus Strassburg**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15:30 h do dia **13 de Junho de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Gustavo Savaris  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Dr. Gerson Filippini  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Dr. Evandro Marcos Kolling  
(UTFPR – TD)  
Orientador

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr Fúlvio Natercio Feiber  
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## RESUMO

O trabalho consiste em apresentar, por meio de análises, configurações de treliças modificadas para a minimização do acúmulo de impurezas, sem deixar de atender os requisitos de resistência. Assim, foram realizadas modificações nos elementos das treliças, como rotação e inclinação das barras, bem como alteração na quantidade de nós, sendo realizada posterior análise de seus comportamentos, onde foi possível sugerir as configurações de treliça objetivadas. Tais modificações foram realizadas com base no ângulo de repouso da impureza medido na pesquisa. Também foi possível comparar os custos pela taxa de consumo de aço das treliças, para definir quais configurações são mais viáveis. Portanto, definiu-se que as treliças de banzos paralelos e treliça em arco apresentam vantagens econômicas e funcionais quando modificadas. Sendo assim, denota-se o benefício do emprego de tais treliças por gerar uma economia com a mão de obra de limpeza e manutenção de galpões, bem como uma redução dos prejuízos ao produtor provocados pelas perdas associadas ao ataque de pragas.

**Palavras-chave:** Armazenagem, Cobertura, Galpões, Impurezas, Treliças.

## **ABSTRACT**

Therefore, the objective of the following work is to present, by means of analyzes, configurations of modified trusses to minimize the accumulation of impurities without meeting the resistance requirements. Therefore, changes were made in the lattice elements, such as rotation and slope of the bars, as well as changes in the nodes number, and subsequent analysis of their behavior, where it was possible to suggest lattice configurations objectified. Such modifications were made based on the resting angle of the impurity measured in the research. It was also possible to compare the costs by the steel consumption rate of the trusses, to determine which configurations are more feasible. Therefore, it was defined that the trusses of parallel banzos and arched trusses present economic and functional advantages when modified. Thus, the benefit of the use of such trusses is perceived by generating an economy with the labor of cleaning and maintenance of sheds, as well as a reduction of the losses to the producer caused by the losses associated with the attack of plagues.

**Key words:** Coating, Impurities, Storage, Sheds, Trusses.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Armazém graneleiro de fundo V. ....	15
Figura 2 - Padrão estrutural de armazéns de cobertura treliçada em arco .....	15
Figura 3 - Padrão estrutural de armazéns de cobertura treliçada .....	16
Figura 4 - Padrão estrutural de armazéns com vigas em alma cheia.....	16
Figura 5 - Arranjo estrutural convencional de galpão .....	17
Figura 6 - Tipologias de galpões: (a) Treliza de banzos paralelos; (b) Treliza em arco .....	18
Figura 7 - Nomenclatura das barras de uma treliça .....	19
Figura 8 - Detalhe de treliça: (a) Nó lateral; (b) Nó inferior.....	20
Figura 9 - Perdas em diferentes etapas da cadeia produtiva em diferentes regiões do mundo .....	21
Figura 10 - Esquematização do ângulo de repouso .....	23
Figura 11 - Determinação do ângulo de repouso .....	26
Figura 12 - Perfis metálicos: (a) Perfil I; (b) Cantoneira; (c) Perfil U; (d) Perfil T; (e) Seção do Perfil I; (f) Seção da Cantoneira; (g) Seção do Perfil U; (h) Seção do Perfil T. ....	27
Figura 13 - Especificações do perfil U.....	28
Figura 14 - Interface do software <i>Ftool</i> .....	29
Figura 15 - Opções para o perfil de aço: (a) Parâmetros do material; (b) Propriedades da seção. ....	29
Figura 16 – Área de influência referente aos nós.....	31
Figura 17 - Caso de carga crítica para galpão em duas águas .....	32
Figura 18 - Caso de carga crítica para galpão em arco .....	33
Figura 19 - Valores dos coeficientes de ponderação de ações .....	35
Figura 20 - Valores dos fatores de combinação e de redução para ações variáveis.....	36
Figura 21 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências .....	38
Figura 22 - Coeficiente de flambagem .....	40
Figura 23 - Valores de $(b/t)_{lim}$ .....	41
Figura 24 - Deslocamentos máximos .....	42
Figura 25 - Treliza com configuração comumente utilizada .....	44
Figura 26 - Perfis componentes da configuração inicial: (a) Perfil U com concavidade para baixo; (b) Perfil U com concavidade para cima; (c) Perfil de dupla cantoneira.....	44
Figura 27 - Configuração inicial de treliça de banzos paralelos .....	45
Figura 28 - Carregamento incidente nos nós proveniente da Combinação C2 para ELU .....	48
Figura 29 - Carregamento incidente nos nós proveniente da Combinação C2 para ELS .....	48
Figura 30 - Diagrama do esforço normal para ELU.....	50
Figura 31 - Configuração de deformação para ELS .....	53
Figura 32 - Ensaio para determinação do ângulo de repouso das impurezas .....	54
Figura 33 Inclinação das barras da treliça na configuração inicial .....	55
Figura 34 - Inclinação das barras da Treliza 2.....	56
Figura 35 - Perfil de cantoneira rotacionada com a concavidade para baixo .....	57
Figura 36 - Configuração da Treliza 4 .....	58
Figura 37 - Modelo 3D da Treliza 4 .....	59

Figura 38 - Configuração inicial de treliça em arco .....	60
Figura 39 - Treliza em arco com modificação no direcionamento das barras diagonais.....	61
Figura 40 - Treliza em arco com modificação na quantidade de nós .....	62
Figura 41 - Configuração da Treliza 2 .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estocagem de grãos na própria unidade produtora - 2014.....	14
Tabela 2 - Ângulo de repouso de produtos agrícolas .....	23
Tabela 3 - Cálculo do peso próprio da tesoura de cobertura.....	45
Tabela 4 - Cálculo da sobrecarga.....	46
Tabela 5 - Cálculo da ação do vento .....	46
Tabela 6 – Cálculo das combinações de ações.....	47
Tabela 7 - Resultados do ensaio para determinação do ângulo de repouso das impurezas.....	55
Tabela 8 - Consumo de aço.....	65
Tabela 9 - Resultados referentes à Treliça de configuração inicial (Banzos Paralelos) .....	70
Tabela 10 - Resultados referentes à Treliça 2 (Banzos Paralelos) .....	70
Tabela 11 - Resultados referentes à Treliça 3 (Banzos Paralelos) .....	70
Tabela 12 - Resultados referentes à Treliça 4 (Banzos Paralelos) .....	71
Tabela 13 - Resultados referentes à Treliça de configuração inicial (Arco) .....	71
Tabela 14 - Resultados referentes à Treliça 2 (Arco) .....	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1 ARMAZENAGEM NO BRASIL.....	13
2.2 ATUAIS SISTEMAS DE ARMAZENAGEM.....	14
2.3 TIPOLOGIA DE COBERTURA PARA ARMAZÉNS GRANELEIROS.....	17
2.4 CARACTERÍSTICAS DAS TRELIÇAS.....	19
2.5 PERDAS DE PRODUTO AGRÍCOLA.....	20
2.5.1 Limpeza e higienização .....	22
2.5.2 Ângulo de repouso.....	23
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	25
3.1 DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE REPOUSO DE IMPUREZAS .....	25
3.2 PERFIS DE AÇO UTILIZADOS .....	26
3.3 <i>SOFTWARE FTOOL</i> .....	28
3.4 CÁLCULOS DOS CARREGAMENTOS NA TRELIÇA.....	30
3.4.1 Carregamento devido ao peso próprio.....	30
3.4.2 Carregamento devido à sobrecarga.....	31
3.4.3 Carregamento devido ao vento .....	31
3.4.3.1 Carregamento devido ao vento para Galpão em Duas Águas.....	32
3.4.3.2 Carregamento devido ao vento para Galpão em Arco.....	33
3.5 COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	34
3.6 VERIFICAÇÕES DE RESISTÊNCIA .....	36
3.6.1 Determinação da força axial de tração resistente de cálculo.....	36
3.6.2 Determinação da força axial de compressão resistente de cálculo .....	38
3.6.3 Determinação das flechas máximas .....	41
<b>4 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO</b> .....	43
4.1 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CÁLCULO PARA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS – VÃO DE 20 m .....	43
4.1.1 Cálculo dos carregamentos .....	45
4.1.2 Verificação da força axial de tração .....	49
4.1.3 Verificação da força axial de compressão .....	51
4.1.4 Verificação do deslocamento máximo .....	52

4.2 MODIFICAÇÕES NA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS – VÃO 20 m .....	54
4.2.1 Determinação do ângulo de repouso das impurezas .....	54
4.2.2 Modificações na inclinação das barras .....	55
4.2.3 Modificação no perfil dos banzos .....	57
4.3 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CÁLCULO PARA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA ARCO – VÃO DE 20 m .....	59
4.4 MODIFICAÇÕES NA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA EM ARCO – VÃO 20 m .....	61
<b>5 ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>66</b>
6.1 TRABALHOS FUTUROS .....	67
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>
<b>Apêndice A – Resultados do cálculo dos carregamentos incidentes na estrutura e verificação de resistência .....</b>	<b>70</b>
A.1 RESULTADOS REFERENTES À TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS .....	70
A.2 RESULTADOS REFERENTES À TRELIÇA EM ARCO .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

A armazenagem de produtos agrícolas representa uma das mais importantes etapas produtivas, por ser responsável pela manutenção da qualidade dos grãos até a fase de processamento. Atualmente, as instalações armazenadoras mais empregadas são os silos e os armazéns; que do ponto de vista estrutural, satisfazem bem a necessidade, no entanto, do ponto de vista funcional são sistemáticos os problemas relacionados ao trato do produto, geralmente potencializados por alguns dos modelos de coberturas dessas instalações.

Algumas dessas coberturas apresentam suscetibilidade ao acúmulo de impurezas, o que pode implicar na contaminação do ambiente e conseqüentemente do produto armazenado, assim como, potencializar o desenvolvimento de pragas, apropriação de insetos, roedores, aves e microrganismos, gerando assim um aumento do custo de armazenagem. Tal fato contribui para o alto índice de perdas vinculado a atividade.

Segundo Silva et al. (2008) as perdas no Brasil são significativas e dependendo da região podem atingir 30%. As principais causas que contribuem para a estatística são a ineficiente higienização dos galpões e silos, o precário conhecimento técnico e o ataque de pragas, em virtude da inadequação das instalações.

Algumas operações podem minimizar os problemas das perdas de produtos na fase de armazenagem, uma delas é a limpeza e higienização da estrutura dos galpões, dos pilares à cobertura. Porém tal operação traz altos custos, é de difícil execução e necessita ser realizada regularmente.

De forma geral os armazéns e silos de estocagem agrícola possuem uma estrutura de cobertura treliçada geralmente constituída de perfis metálicos tipo I, L e U. Alguns desses perfis, por conta de suas acomodações nas estruturas, facilitam o acúmulo de impurezas, ou seja, restos de materiais orgânicos, grãos, poeira e até mesmo umidade. Essas impurezas aglomeradas contribuem para criação e proliferação de pragas, vetores estes que implicam em custos adicionais no trato do produto, ou mesmo no comprometimento funcional deste.

Neste sentido, a busca por soluções, que inibam ou minimizem as perdas, passa pelo estudo constante dos componentes inclusos na atividade de

armazenagem, dentre estes, as estruturas civis, como no caso das treliças objeto da proposta de análise deste trabalho.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

A proposta objetiva analisar diferentes composições para os elementos das treliças comumente empregadas na cobertura de armazéns agrícolas convencionais, de modo a propor um padrão estrutural que atenda os requisitos técnicos dimensionais aliados à redução do potencial acúmulo de impurezas em seus elementos construtivos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Estudar e avaliar os atuais sistemas de armazenagem, em dimensões, solicitações e funcionalidade;
- Levantar requisitos técnicos e normativos para análise das treliças;
- Levantar disposições comerciais de perfis e avaliar suas implicações no contexto estrutural e funcional das treliças.
- Comparar os custos dos padrões sugeridos com as configurações iniciais de treliça.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A produção agrícola é fundamental para a economia nacional. Sua relevância é tamanha que somente as perdas ocorridas no processo de produção chegam a equivaler a 7,8% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, algo próximo aos R\$ 10 bilhões (JARDINE, 2002).

A proposição de novo padrão estrutural para coberturas de galpões agrícolas, que supra as necessidades físicas e mitigue o acúmulo das impurezas, traria benefícios diretos aos produtores e/ou às empresas beneficiadoras e

armazenadoras de grãos, pois contribuiria para a redução na estatística de perdas do produto e diminuiria os custos operacionais da atividade.

Além disso, cabe ressaltar que a capacidade de armazenagem de grãos nos países de primeiro mundo varia entre 30% e 60% de suas safras, enquanto no Brasil tal aptidão não chega aos 15% (IEA, 2014). Ou seja, nosso país possui poucas unidades de armazenamento, pois ainda trabalha pouco com o processo de agregar valor ao produto, exportando boa parte de sua produção. Sendo assim, o Brasil tem um grande potencial de crescimento e aproveitamento na área do agronegócio, tendo boas expectativas de serem construídas muitas outras unidades armazenadoras para os grãos. Desta forma se vislumbra uma boa oportunidade para o estudo, visto a possibilidade de contribuição na racionalização e sustentabilidade da atividade, e consequente implicação econômica ao longo do desenvolvimento do setor.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As estruturas são sistemas capazes receber e transmitir esforços. Podem ser constituídos por diversos materiais, como concreto, madeira, aço, entre outros. Porém essas estruturas devem se manter preservadas e resistentes aos esforços solicitantes, por isso devem ser dimensionadas para tal. Além dos fatores estruturais, em uma edificação devem ser considerados os fatores funcionais e econômicos que interligados afetam diretamente um ao outro.

### 2.1 ARMAZENAGEM NO BRASIL

No Brasil há um crescimento anual da produção de grãos, ou seja, a cada ano o país bate recordes de safra agrícola. Porém o mesmo não acontece com a capacidade de armazenagem de grãos, que não acompanha com mesma intensidade os resultados da produção (DOS REIS et al., 2016).

Como proposto por Almeida et al. (2011) armazenar é receber o produto e conservá-lo nas condições perfeitas para distribuição sequente. A armazenagem de grãos é de suma relevância na cadeia de distribuição, já que equilibra as oscilações de estoque com a demanda de mercado, fazendo com que não venha faltar produto.

De acordo com Silva (2008) o Brasil tem, atualmente, capacidade para armazenar cerca de 90 milhões de toneladas de grãos. Porém, dos armazéns existentes cerca de 40% encontram-se abaixo do padrão técnico exigido para a boa conservação de produtos agrícolas. Além disso, a inadequação da armazenagem dessa parcela da produção acarreta perdas superiores a 25% do total armazenado, devido ao ataque de roedores, pássaros, insetos e microrganismos.

Como pode ser observado na Tabela 1, o Brasil apresenta capacidade de armazenamento bem aquém de sua capacidade produtiva ficando atrás da Argentina que possui sistemas de armazenagem em 40% das propriedades rurais enquanto tal aptidão não chega à metade do número no Brasil (IEA, 2014).

**Tabela 1 - Estocagem de grãos na própria unidade produtora - 2014**

<b>País</b>	<b>Capacidade Estática Total</b>
Austrália	>35%
EUA	55 a 66%
Europa	>35%
Argentina	35 a 45%
Oeste do Canadá	85%
Brasil	15%

Fonte: Conab (2015)

Deste modo verifica-se que o Brasil tem uma ampla oportunidade de mercado para o setor de galpões e silos de armazenagem. Sendo assim, muitas unidades armazenadoras deverão surgir e qualquer benefício aplicado a essas estruturas implicará em grande repercussão econômica.

## 2.2 ATUAIS SISTEMAS DE ARMAZENAGEM

O armazenamento de grãos pode ser realizado em galpões/armazéns graneleiros ou em silos compostos por chapas metálicas, madeira, concreto ou alvenaria.

Segundo Pravia (2010), os galpões graneleiros, também chamados edifícios industriais são estruturas formadas por pórticos regularmente espaçados. Constituídas em aço, possuem um único pavimento em sua maioria. Sua cobertura é composta por um sistema de treliças, terças e vigas.

Os armazéns graneleiros são caracterizados por possuírem grandes comprimentos de aproximadamente 120 metros e largura entre 15 e 30 metros. O fundo dos armazéns pode ser plano ou em formato de V, sendo neste caso a inclinação definida de acordo com o ângulo de repouso do produto a ser armazenado, para que este não fique imóvel, mas escoe por gravidade. Neste segundo caso requerem-se escavações que podem alcançar a marca de 15 metros de profundidade.

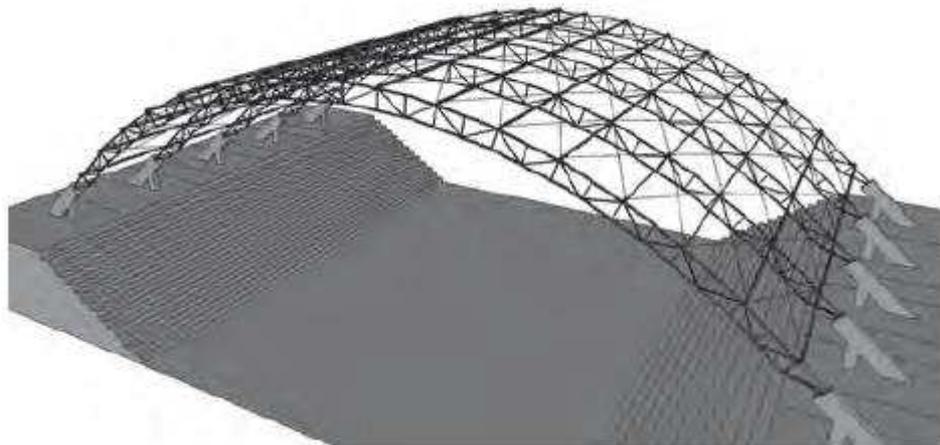
Dentro dos armazéns graneleiros podem existir subdivisões chamadas de células, o que permite ao armazenador a estocagem de produtos diferentes. A

Figura 1 apresenta um armazém graneleiro de fundo em V com cobertura treliçada em arco.



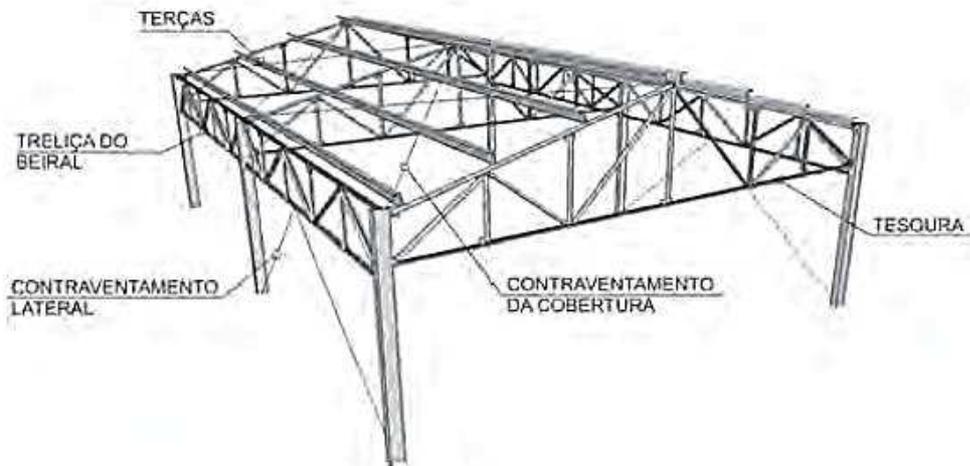
**Figura 1: Armazém graneleiro de fundo V**  
Fonte: Sul estruturas (2015).

Um padrão estrutural de cobertura comumente empregado aos armazéns é o em arco. Nesse sistema a angulação da cobertura varia no decorrer da largura, diferentemente dos padrões de bantos paralelos ou trapezoidal onde o ângulo da cobertura com a horizontal permanece constante até a cumeeira. A Figura 2 apresenta um esquema de galpão com cobertura treliçada em arco.



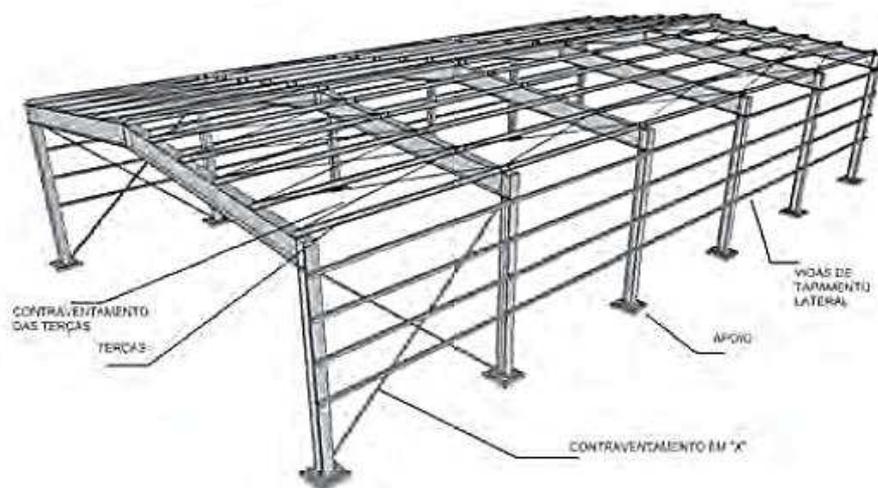
**Figura 2: Padrão estrutural de armazéns de cobertura treliçada em arco.**  
Fonte: Pravia (2010)

O padrão estrutural de um armazém graneleiro de aço é composto por tesouras, terças e contraventamentos como representado na projeção da Figura 3.



**Figura 3: Padrão estrutural de armazéns de cobertura treliçada.**  
Fonte: Pravia (2010)

Pode-se observar na Figura 3 uma edificação cuja cobertura é de duas águas, com contraventamento lateral e de cobertura e com suas tesouras trapezoidais apoiadas em colunas em perfis I. Além desse padrão estrutural, um galpão pode possuir vigas de alma cheia. A Figura 4 mostra um esboço de galpão cujas vigas na estrutura de cobertura são em perfis I de alma cheia.



**Figura 4: Padrão estrutural de armazéns com vigas em alma cheia.**  
Fonte: Pravia (2010)

## 2.3 TIPOLOGIA DE COBERTURA PARA ARMAZÉNS GRANELEIROS

De acordo com o Manual Brasileiro para cálculo de Estruturas Metálicas (MIC/STI, 1986), deve-se escolher o sistema estrutural do galpão conforme a função que desempenhará, tipo do terreno e suas dimensões principais.

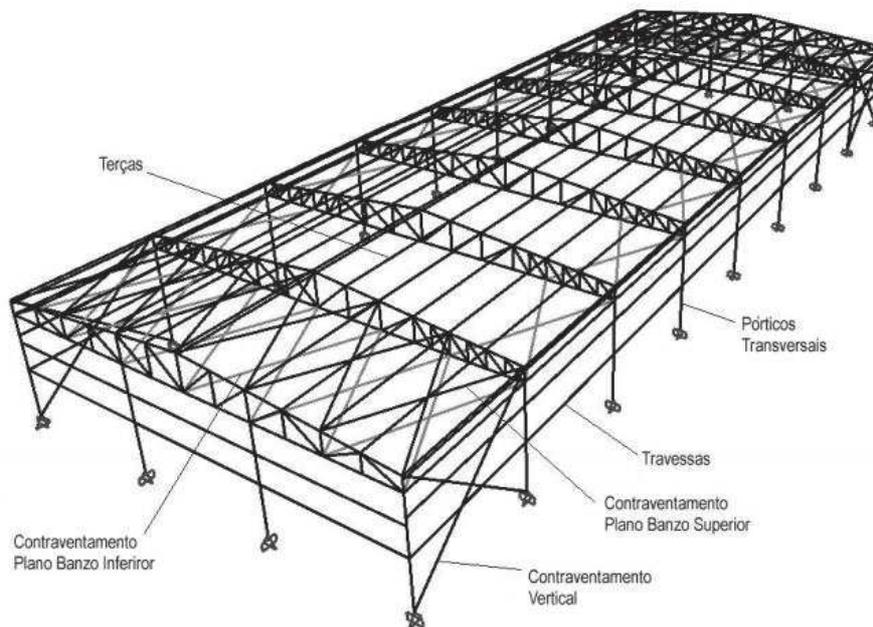
Este manual classifica os galpões quanto à:

a) Estrutura principal:

- Pórticos simples;
- Pórticos múltiplos;
- Estruturas especiais.

b) Cobertura:

- Cobertura plana (horizontal ou inclinada);
- Cobertura dentada (*sheds*);
- Cobertura em arco.

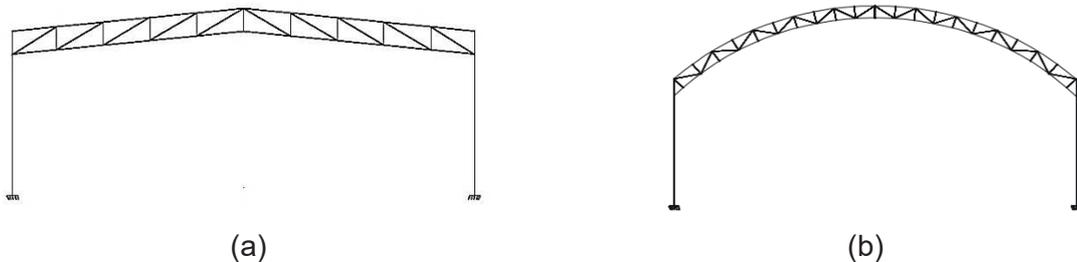


**Figura 5: Arranjo estrutural convencional de galpão.**

Fonte: CHAVES, 2007

A Figura 5 apresenta um esquema representativo de um galpão industrial convencional com cobertura plana inclinada de duas águas, tendo tesouras trapezoidais, terças na direção longitudinal e contraventamento nos planos de banzo inferior, banzo superior e na vertical.

De acordo com Chaves (2007) as tipologias que apresentam melhor eficiência quanto à taxa de consumo de aço e quanto ao deslocamento vertical do pórtico, por sua resistência são o de treliça de banzos paralelos e o de treliça em arco. A Figura 6 apresenta uma representação dos pórticos citados.



**Figura 6 - Tipologias de galpões: (a) Treliça de banzos paralelos; (b) Treliça em arco.**  
Fonte: CHAVES (2007)

Ambas as tipologias são comumente empregadas em galpões de armazenagem agrícola. A Figura 6a apresenta uma treliça de banzos paralelos para cobertura inclinada de duas águas, onde seu banzo inferior é paralelo ao banzo superior e é fixado um pouco abaixo da ligação da coluna com o banzo superior à distância do comprimento da barra montante, diferentemente da treliça triangular, em que a ligação dos banzos superior e inferior na coluna se dão no mesmo nó. Nota-se que as barras montantes da treliça de banzos paralelos estão todas dispostas na vertical e as barras diagonais permanecem com inclinações constantes.

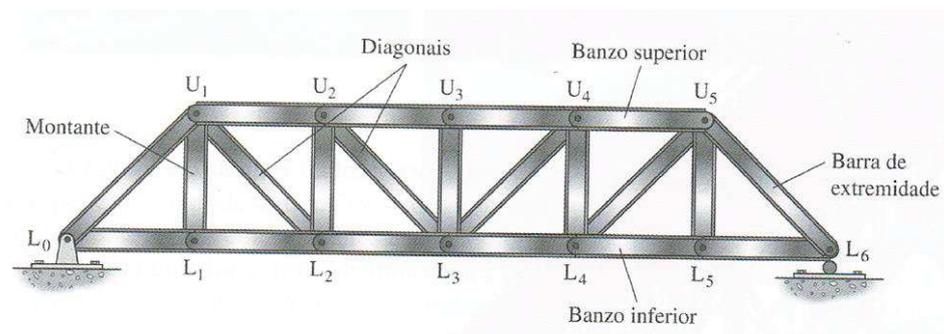
Já a Figura 6b apresenta uma treliça em arco para cobertura em arco, sendo seus banzos superior e inferior paralelos à cobertura. Por ser em arco a angulação dos banzos varia a cada nó. Nesta disposição, bem como as barras dos banzos, os elementos de montante e diagonal variam sua inclinação ao decorrer da treliça.

Em estudo Chaves (2007) conclui a análise e comparação das tipologias de galpões estruturais afirmando que o fato de uma tipologia sobressair-se sobre as outras no quesito de resistência, não significa que esta seja mais econômica. Outras variáveis devem ser consideradas na etapa de projeto, como por exemplo, a altura do pé direito efetivo. Caso haja a necessidade de grandes alturas, o pórtico mais eficaz será o de treliça em arco ou treliça de banzos paralelos. No caso dos armazéns graneleiros existe uma esteira transportadora rente à cobertura para transporte dos grãos, fazendo com que seja necessário o uso de uma treliça que apresente um espaço para a locação da mesma.

Frente aos resultados do estudo mencionado, e considerando que os galpões graneleiros necessitam de grandes alturas, espera-se que os pórticos de treliça em arco e de treliça de banzos paralelos atuem na estrutura com maior eficiência.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DAS TRELIÇAS

Uma treliça é constituída por elementos que em conjunto resistem aos esforços a eles propostos. A Figura 7 apresenta um esquema que indica os elementos de uma treliça.

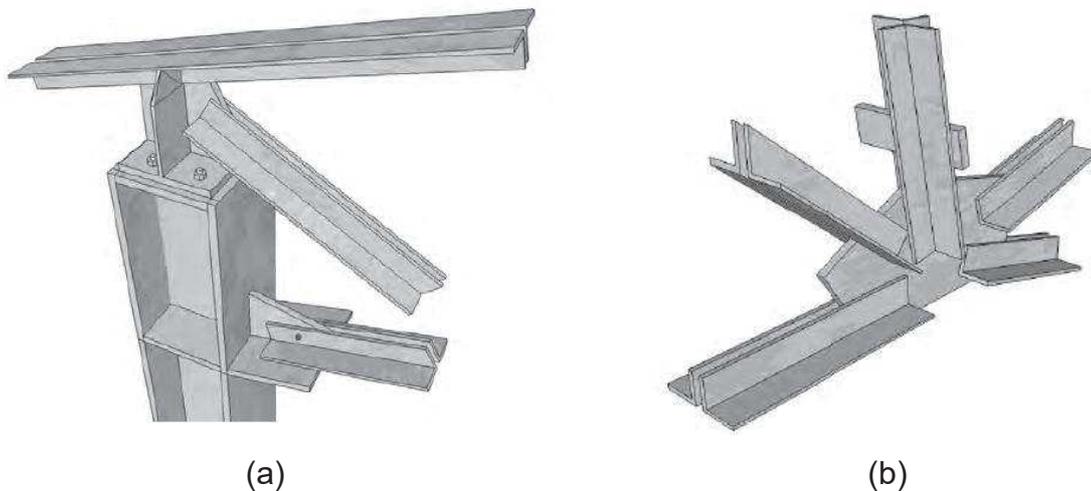


**Figura 7: Nomenclatura das barras de uma treliça.**

Fonte: McCormac (2009), p.95

- Banzos: São os elementos que estabelecem o contorno da treliça, composto pelas barras superiores e inferiores.
- Diagonais: São as barras posicionadas nas diagonais da treliça de maneira inclinada.
- Montante: São os elementos dispostos na vertical da treliça.

Várias são as possibilidades de escolha para construção de uma tesoura na cobertura de um galpão, podendo variar na sua geometria, nos perfis que a compõe, nas suas ligações e espaçamentos. A Figura 8 apresenta o detalhe de um exemplo de ligação de tesoura.



**Figura 8 - Detalhe de treliça: (a) Nó lateral; (b) Nó inferior.**

Fonte: Pravia (2010)

Podem-se observar na Figura 8 alguns perfis diferentes. Na coluna verifica-se um perfil I, já nos banzos inferior, superior e diagonal da tesoura notam-se perfis duplos de cantoneira.

Já é de conhecimento que os perfis empregados na confecção das treliças tem relação direta com a resistência e com o custo da estrutura. Entretanto, estes também podem influenciar na atividade operacional de emprego da estrutura; que no caso do armazenamento de produtos agrícolas está relacionado ao acúmulo de impurezas e a potenciais perdas econômicas.

## 2.5 PERDAS DE PRODUTO AGRÍCOLA

As perdas agrícolas estão em todas as etapas produtivas, na operação de colheita, no armazenamento, no transporte, no consumo ou por superprodução.

Caixeta Filho (1996) caracteriza perdas como mudança na viabilidade, comestibilidade, salubridade ou qualidade do alimento que não permita a ingestão por pessoas.

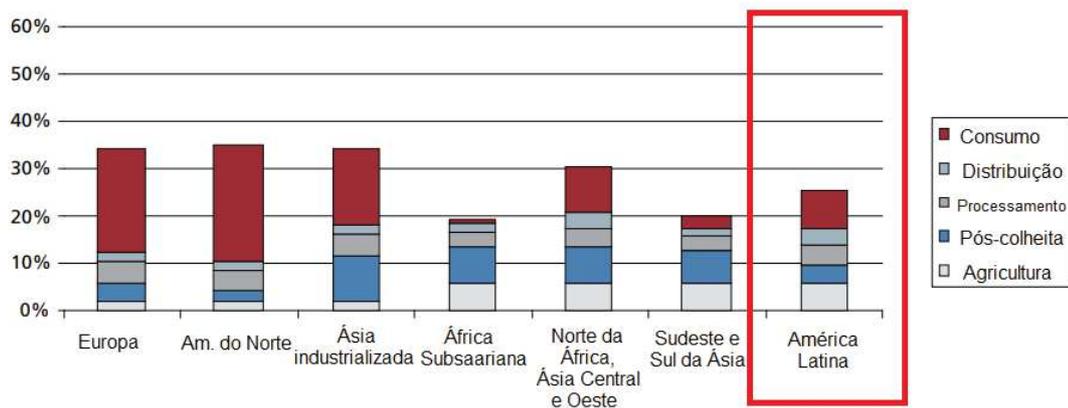
De acordo com Crisosto (1997), as perdas quantitativas são caracterizadas por perda de peso, sabor, firmeza, mudança de coloração, atrativos para invasões e crescimento de patógenos.

Várias são as causas de perdas de produto agrícola. Para Cenci (2000), os motivos que contribuem para desperdício de grãos são a falta de conhecimento técnico, uso de maquinário inapropriado, mão de obra desabilitada, uso de práticas

de produção inadequadas e principalmente um manuseio pós-colheita com carência de conhecimento técnico.

Além do prejuízo do ponto de vista econômico as perdas na pós-colheita geram um dano ao meio ambiente. Há uma emissão de gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na produção do alimento que se torna desnecessária na medida em que tal produto produzido não é consumido (FAO, 2011).

Como já citado, as perdas de produto agrícola no Brasil são alarmantes, chegando à marca dos 7,8% do PIB (Produto Interno Bruto), porém esses números englobam todas as etapas da cadeia produtiva. A porcentagem de perdas para cada uma dessas etapas foi quantificada pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, “Food and Agriculture Organization of the United Nations”) e é apresentada na Figura 9.



**Figura 09: Perdas em diferentes etapas da cadeia produtiva em diferentes regiões do mundo.**  
Fonte: Adaptado de FAO (2011).

Independente da região do mundo as perdas podem ser observadas em cada etapa produtiva. Sendo as relacionadas à pós-colheita, etapa que inclui a armazenagem, bem representativas na Ásia, África e na América Latina.

Um dos potencializadores das perdas é o acúmulo de impurezas no ambiente de armazenagem. Segundo Carvalho Neto (1998), vários fatores estão relacionados a presença e proliferação das pragas nos diversos ambientes da agricultura, dentre eles destacam-se as condições inadequadas de higiene ambiental, as condições favoráveis de abrigo e os alimentos em abundância.

Na armazenagem de grãos, a infestação de pragas causa sérios prejuízos pela perda destes alimentos, afetando a qualidade e produção dos grãos e, por

consequente uma queda de produção, alcançando o bolso do produtor (VIEIRA, 2015).

### 2.5.1 Limpeza e higienização

Uma alternativa para o problema das perdas de produto causadas pelo acúmulo de sujeira no sistema estrutural de cobertura dos galpões agrícolas é a limpeza regular do mesmo. Tal higienização deve ser feita a cada nova safra ou ao recebimento de novos produtos, deixando as apropriações livres de pragas em geral.

Um profissional experiente detecta que a presença de um inseto pode revelar problemas na massa de grãos. Assim, por exemplo, podem-se constatar deficiências na limpeza e higienização da unidade armazenadora caso for encontrado o *Tribolium castaneum* (besouro castanho). Já o *Criptolestes ferrugineus*, o *Orizaephilus surinamensis*, psocópteros e ácaros surgem ao passo em que uma umidade excessiva na massa de grãos é encontrada e, portanto, revelam que as condições do armazenamento estão em deficiência (STRESSER, 2013).

Segundo Sobestiansky (2002), um bom programa de limpeza e desinfecção é essencial manutenção da saúde dos grãos, dado que, nas circunstâncias de confinamento, a gravidade e a ocorrência das infestações de pragas estão diretamente associadas ao nível de contaminação do ambiente.

Ainda, para Stresser (2013), antes do início de uma nova safra, quando os galpões estão vazios ou próximos disso, deve-se realizar uma limpeza completa da unidade de armazenamento, bem como das demais instalações da propriedade, pois se tratando de pragas, a infestação se dá também nos arredores de onde se armazena o produto. Além da limpeza e higienização pode-se complementar a prática com o uso de inseticidas, que se destinam a eliminar os insetos restantes no meio e formar uma barreira contra a entrada de invasores.

### 2.5.2 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso é uma característica dos produtos agrícolas, assim como de seus derivados e impurezas, que pode influenciar diretamente nos custos de produção, seja nas estruturas de armazenagem ou no controle sanitário destas.

Conforme Silva et al. (2006) todo material granular possui uma propriedade denominada ângulo de repouso, sendo esta a inclinação mais íngreme em relação ao plano horizontal que o material forma estaticamente, ou seja, na iminência do deslizamento. Cada material forma o seu próprio ângulo, determinado pela morfologia do grão. A Figura 10 apresenta um esquema representativo de um produto sobre uma superfície plana e seu respectivo ângulo de repouso.

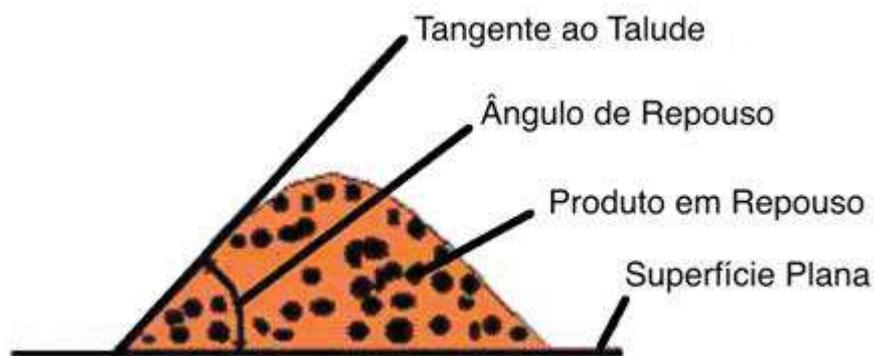


Figura 10: Esquematização do ângulo de repouso.

Fonte: Moraes (2015).

Na armazenagem agrícola os silos são projetados com um fundo em ângulo que permita o total deslizamento do produto ali armazenado. Na Tabela 2 está apresentada uma lista de produtos e seus respectivos ângulos de repouso:

Tabela 2: Ângulo de repouso de produtos agrícolas.

Produto	Ângulo de repouso
Arroz	36°
Aveia	30°
Milho	27°
Soja	29°
Trigo	27°

Fonte: NBR 6120, 1980.

Caso o produto armazenado for submetido ao deslizamento de uma rampa de ângulo inferior ao seu característico não irá movimentar-se podendo se acumular, causando transtornos, pois necessitará de outro mecanismo para que seja retirado.

Os grãos, as impurezas, assim como a sujeira e o pó também possuem um ângulo de repouso característico, e este pode contribuir na aglomeração destas nas concavidades das estruturas metálicas. A exposição das estruturas de cobertura do armazém aos agentes mencionados, notável no ato do seu carregamento e descarregamento, pode, assim como, o tipo de perfil constituinte e sua disposição locacional, potencializar o acúmulo de impurezas e conseqüentemente a apropriação de insetos, roedores, microrganismos, entre outros.

### 3 METODOLOGIA

O atendimento do objetivo passou pelo estudo e proposta de modificação em uma estrutura treliça convencionalmente utilizada em armazéns de estocagem agrícola. A proposta visou diminuir a possibilidade de acúmulo de impurezas nos elementos construtivos, sem, no entanto, perder sua eficiência estrutural e funcional.

Isso se deu a partir do levantamento das cargas externas atuantes no sistema de cobertura de um armazém. A partir disso foram avaliados os sistemas de treliças com melhor eficiência quanto à taxa de consumo de aço e quanto ao deslocamento vertical do pórtico. Estas, por sua vez, constituíram o ponto de partida para estudos relacionados ao potencial acúmulo de impurezas.

Foram sugeridas e avaliadas adequações como a mudança de perfil de aço nos elementos da treliça, assim como a alteração do número, inclinação e rotação dos elementos.

As avaliações foram realizadas utilizando-se do programa de cálculo de pórticos denominado “*Ftool*”, a partir do qual foram executadas análise das forças axiais e configuração de deformação, a fim de determinar as forças axiais de tração e compressão solicitantes, além do deslocamento vertical do pórtico. Com base nos resultados verificou-se a composição da nova treliça de modo a responder aos requisitos físicos e estruturais a ela sujeitos.

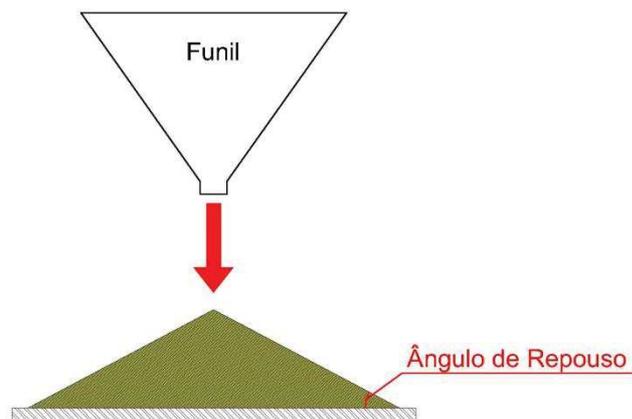
#### 3.1 DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE REPOUSO DE IMPUREZAS

Para reduzir a deposição de impurezas nos perfis de aço da treliça de cobertura partiu-se da premissa que o material de potencial depósito sobre os elementos da estrutura possa escorrer por gravidade. Isso é possível quando as impurezas estão sujeitas a uma inclinação superior ao seu ângulo de repouso, ou seja, se os elementos da treliça estiverem dispostos de modo e angulação que não potencialize o repouso, mas seu deslize.

Para tal foi necessário determinar o ângulo médio de repouso das impurezas características do ambiente da armazenagem agrícola. O cumprimento dessa etapa passou pela coleta do material *in loco* e posterior ensaio para medição do seu ângulo de repouso específico. A amostra de impureza foi coletada na máquina do ciclone, equipamento que serve para coletar o pó expelido pelo ventilador da

máquina de limpeza. Além do pó o ciclone também retira todas as impurezas arrastadas pelo ventilador através da câmara gravitacional desta máquina. A amostra de impurezas é referente ao armazenamento do grão da soja e possui pedaços de casca do produto, bem como seu farelo, pó e restos de matéria orgânica.

A determinação do ângulo de repouso foi realizada com auxílio de um funil; a acomodação do produto em uma base horizontal, após escoamento pelo funil permitiu a leitura do talude formado e conseguinte cálculo do ângulo de repouso. A Figura 11 apresenta o procedimento para determinação do ângulo de repouso de um material.



**Figura 11: Determinação do ângulo de repouso**

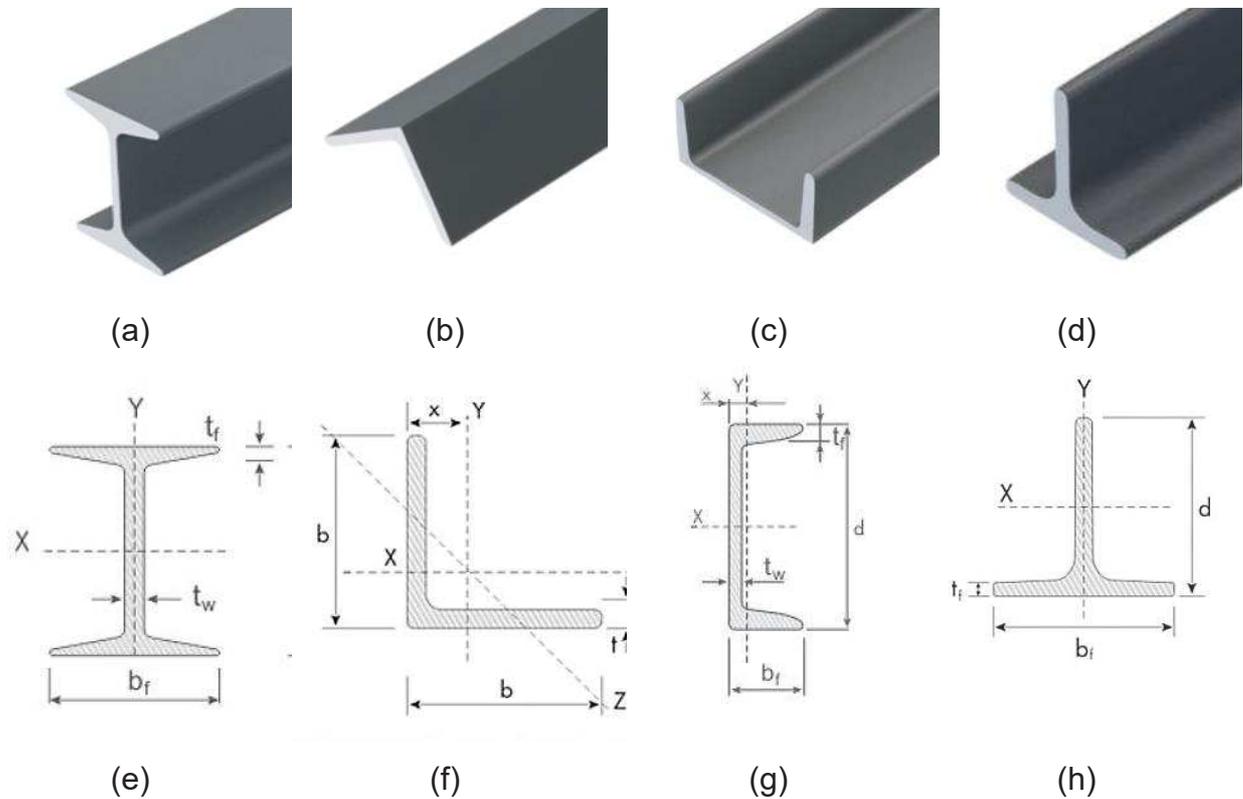
Fonte: Autoria própria (2017).

De posse do ângulo de repouso, procederam-se as avaliações da inclinação das diagonais da treliça, de modo a verificar as possibilidades de superar a inclinação de repouso.

### 3.2 PERFIS DE AÇO UTILIZADOS

Outra possibilidade evidenciada para combater o acúmulo de impurezas nos elementos de cobertura foi a alteração dos perfis atualmente empregados como elementos da treliça. Neste caso, foi analisada a possibilidade de substituição de perfis que possuem concavidades sujeitas ao acúmulo de impurezas, assim como a sua rotação, redirecionando a concavidade dos perfis.

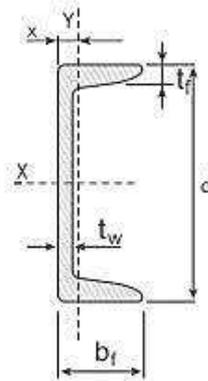
A Figura 12 apresenta alguns dos perfis mais empregados como elementos de uma treliça, a fim de conferir à estrutura um menor consumo de aço e uma resistência necessária para resistir às solicitações à eles impostas.



**Figura 12 - Perfis metálicos: (a) Perfil I; (b) Cantoneira; (c) Perfil U; (d) Perfil T; (e) Seção do Perfil I; (f) Seção da Cantoneira; (g) Seção do Perfil U; (h) Seção do Perfil T.**

Fonte: Gerdau (2015).

Os parâmetros representados na Figura 12 são espessura e comprimento da alma e mesa, bem como o eixo de equilíbrio, que variam para cada um dos tamanhos encontrados no mercado. Os fornecedores dos perfis disponibilizam catálogos, como apresentado na Figura 13, onde é possível encontrar as especificações de perfis metálicos, que poderão auxiliar no dimensionamento pretendido.



Bitola	Peso Nominal	ALMA		MESA		Área	EIXO X			EIXO Y			x
		d	t <sub>w</sub>	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>		I	W	r	I	W	r	
pol	kg/m	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
3"	6,10	76,20	4,32	35,81	6,93	7,78	68,90	18,10	2,98	8,20	3,32	1,03	1,11
	7,44		6,55	38,05	6,93	9,48	77,20	20,30	2,85	10,30	3,82	1,04	1,11
4"	8,04	101,60	4,67	40,23	7,52	10,10	159,50	31,40	3,97	13,10	4,61	1,14	1,16
	9,30		6,27	41,83	7,52	11,90	174,40	34,30	3,84	15,50	5,10	1,14	1,15
6"	12,20	152,40	5,08	48,77	8,71	15,50	546,00	71,70	5,94	28,80	8,16	1,36	1,30
	15,62		7,98	51,66	8,71	19,90	632,00	82,90	5,63	36,00	9,24	1,34	1,27
8"	17,10	203,20	5,59	57,40	9,50	21,68	1344,30	132,70	7,87	54,10	12,94	1,42	1,47
	20,50		7,70	59,51	9,50	25,93	1490,00	147,50	7,59	62,40	14,09	1,42	1,42
10"	22,77	254,00	6,10	66,04	11,10	29,00	2800,00	221,00	9,84	95,00	19,00	1,81	1,61
	29,76		9,63	69,57	11,10	37,90	3290,00	259,00	9,31	117,00	21,60	1,76	1,54
12"	30,80	305,00	7,20	74,00	12,70	39,30	5370,00	352,00	11,70	161,00	28,30	2,03	1,77
	37,00		9,80	77,00	12,70	47,40	6010,00	394,00	11,30	186,00	30,90	1,98	1,71

**Figura 13: Especificações do perfil U**

Fonte: Gerdau (2015).

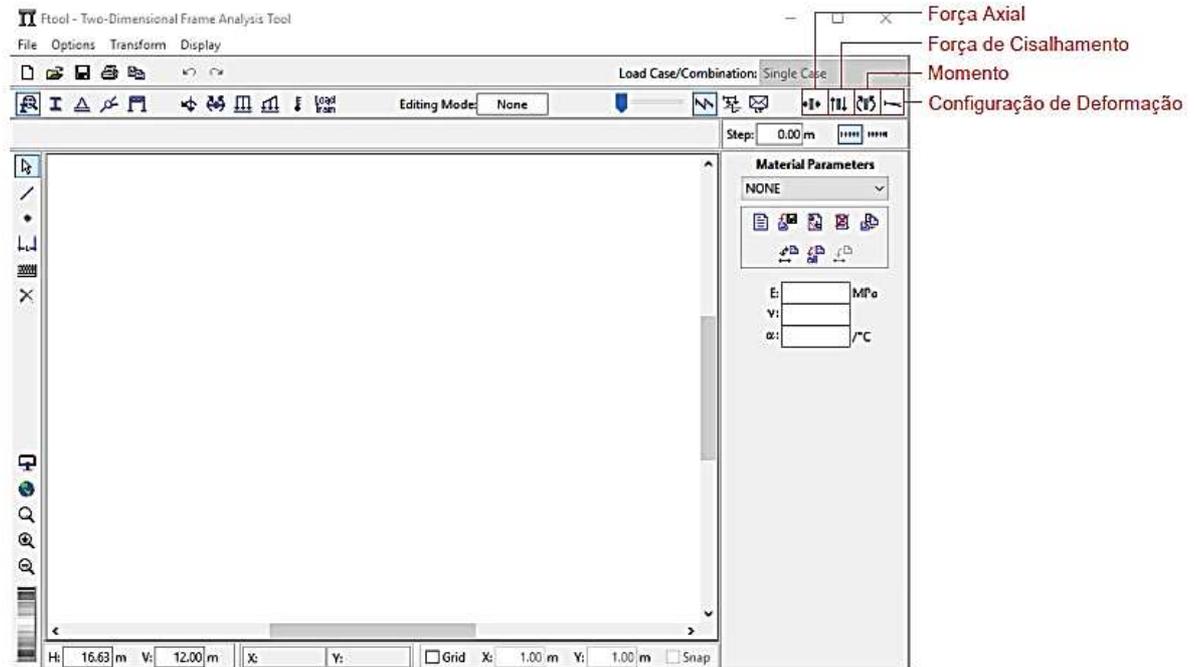
Observa-se na Figura 13 que o perfil U varia a bitola entre 3 e 12 polegadas, para cada um dessas dimensões tem-se o peso nominal, as espessuras ( $t$ ) e comprimentos ( $b$ ) da alma e mesa, a área, o momento de inércia ( $I$ ), o módulo de resistência ( $W$ ), o raio de giração ( $r$ ) e a distância do raio de giração ( $x$ ). Parte desses parâmetros são usados para determinação da resistência de uma peça na posição em que está locada. Tais parâmetros foram considerados na análise rotacional ou substituição dos perfis.

### 3.3 SOFTWARE FTOOL

Para determinação das forças axiais e configuração de deformação foi utilizado o software *Ftool, Educational Version 3.00 – Version Lisboa*, ferramenta de análise estrutural bidimensional. Programa esse desenvolvido pelo Departamento de

Engenharia Civil em conjunto com o Grupo de Tecnologia de Computação Gráfica, ambos da PUC-RJ (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro).

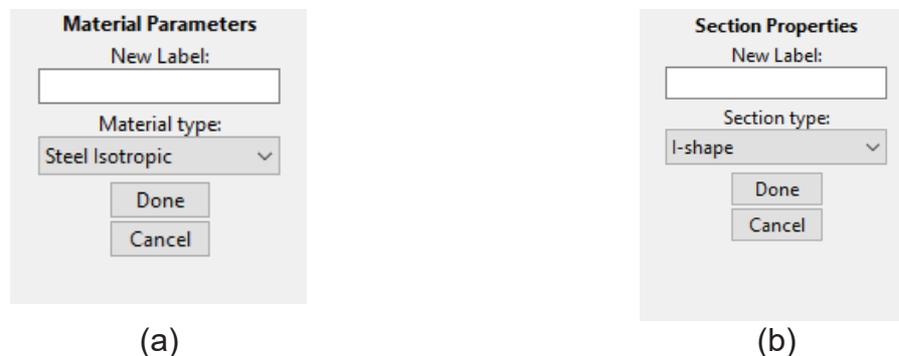
A Figura 14 apresenta a interface do programa e indica os botões dos resultados das forças, momentos e deslocamentos.



**Figura 14: Interface do software Ftool**

Fonte: Autoria própria (2017).

Nesse programa pode-se montar um pórtico qualquer e conferir a ele as propriedades da seção e os parâmetros do material. A Figura 15 apresenta tais opções.



**Figura 15 – Opções para o perfil de aço: (a) Parâmetros do material; (b) Propriedades da seção.**

Fonte: Autoria própria (2017).

Observa-se na Figura 15a que na opção de parâmetros do material pode-se escolher o material utilizado, como aço isotrópico, concreto isotrópico ou criar um material com seus devidos parâmetros. Já na Figura 15b observa-se a possibilidade de escolher a seção do perfil e especificar suas dimensões e propriedades.

Mais especificamente o *software Ftool* foi útil para que pudesse determinar a força atuante em cada uma das barras e a flecha máxima a que o pórtico está sujeito perante seu carregamento. Tais dados são comparados com as forças axiais de tração e compressão resistentes de cálculo e deslocamento máximo do pórtico, critérios esses para verificar a eficácia da estrutura perante seu carregamento.

### 3.4 CÁLCULOS DOS CARREGAMENTOS NA TRELIÇA

A determinação dos carregamentos incidentes nas treliças provenientes da combinação da ação do peso próprio, da sobrecarga e da força do vento são necessários para o procedimento de verificação dos esforços atuantes e flechas máximas. Essas ações são calculadas conforme a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), porém o caso das ações de força de vento baseou-se no estudo dos esforços incidentes sobre a estrutura para galpões industriais leves, objeto de trabalho da pesquisa de Chaves (2007).

#### 3.4.1 Carregamento devido ao peso próprio

O peso próprio da estrutura varia na troca dos perfis, portanto deve ser calculado para cada configuração. O cálculo do peso próprio resultante em kilo newtons se sucede conforme a Expressão 1:

$$P = A.L.\gamma \quad (1)$$

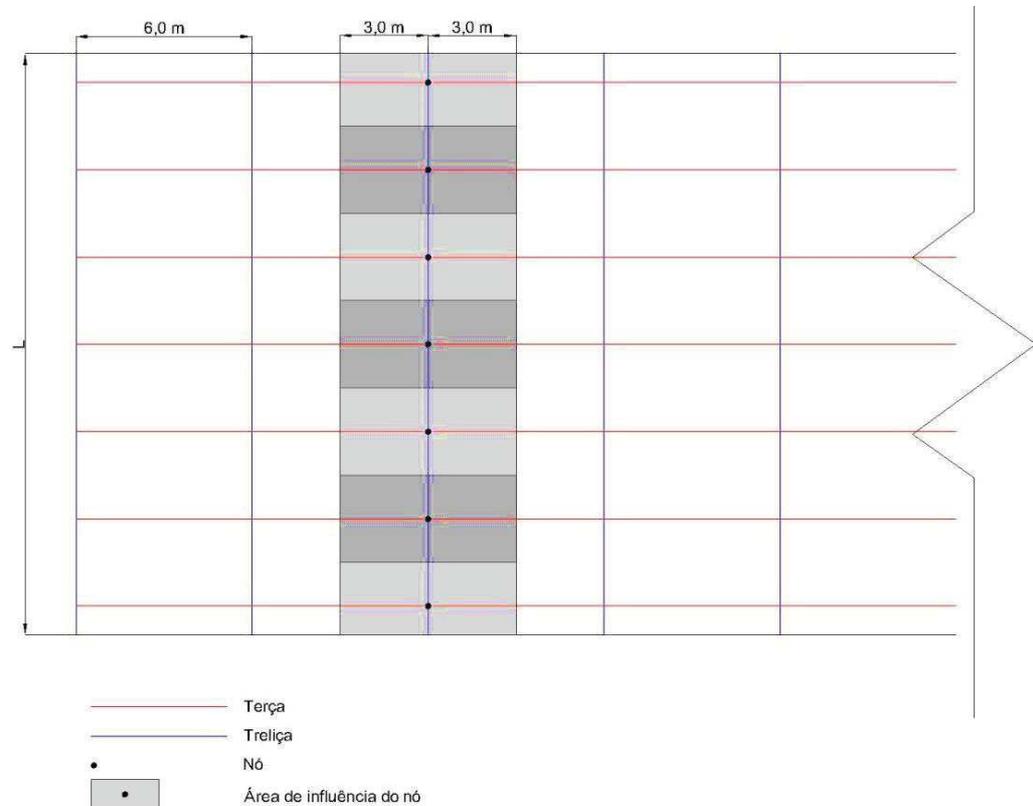
Onde:

$A$  - Área da seção do perfil [m<sup>2</sup>];

$L$  - Comprimento da barra [m];

$\gamma$  - Peso específico [kN/m<sup>3</sup>].

O peso próprio deve ser distribuído conforme a área de influência do nó. A Figura 16 apresenta uma esquematização da área de influência sobre o nó.



**Figura 16 – Área de influência referente aos nós.**

Fonte: Autoria própria (2018).

### 3.4.2 Carregamento devido à sobrecarga

Segundo NBR 8800 (ABNT, 2008), nas coberturas comuns, quando não existem especificações mais rigorosas, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de  $0,25 \text{ kN/m}^2$ , em projeção horizontal.

### 3.4.3 Carregamento devido ao vento

O estudo de Chaves (2007) considerou, para o cálculo das forças de vento, as prescrições norma NBR 6123 (ABNT, 1988). Admitiu-se uma situação de vento comum a todos os galpões. Considerou-se a velocidade básica de  $V_0 = 35 \text{ m/s}$ , galpões implantados em terreno plano ou fracamente acidentado, aberto em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e

edificações baixas. Além disso, admite-se que as quatro faces do galpão são igualmente impermeáveis.

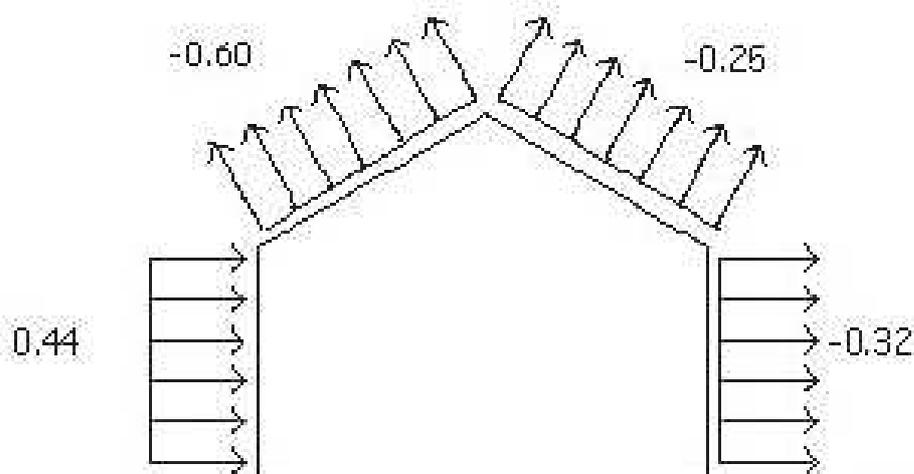
Tal estudo de vento típico foi realizado para galpão com cobertura em duas águas e para galpão com cobertura em arco.

### 3.4.3.1 Carregamento devido ao vento para Galpão em Duas Águas

Os estudos realizados para determinação dos carregamentos de um galpão em duas águas contaram com as seguintes características:

- Vão livre: - 20 metros
- Distância entre os pórticos transversais: - 6 metros
- Altura da coluna: - 6 metros
- Inclinação: - 10%
- Comprimento: - 60 metros

O caso de carga crítica é apresentado na Figura 17, onde se pode observar que a maior força agindo na cobertura é equivalente a  $0,60 \text{ kN/m}^2$ , ou seja, o caso em que se solicita mais da estrutura, portanto essa força é conferida para toda a cobertura. Tal valor é dividido pela área de influência de cada nó e atribuído a estes.



**Figura 17 – Caso de carga crítica para galpão em duas águas.**

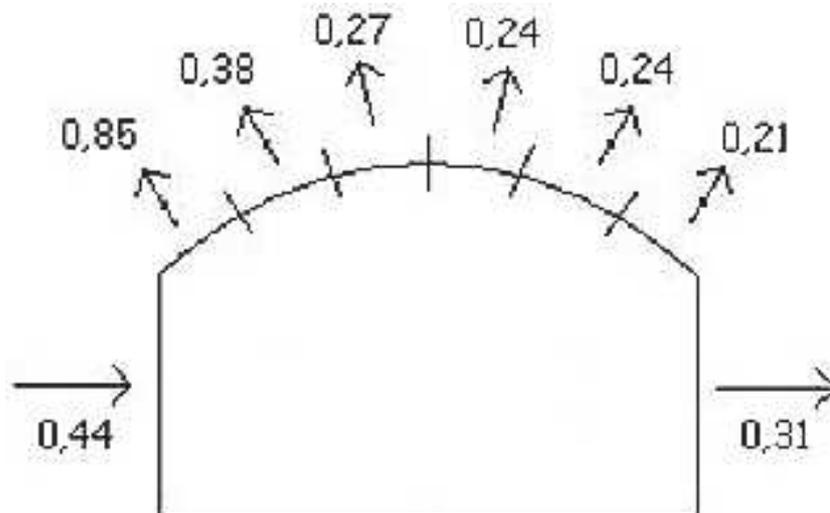
Fonte: Chaves (2007).

### 3.4.3.2 Carregamento devido ao vento para Galpão em Arco

Para os estudos realizados na determinação dos carregamentos de um galpão em arco foram utilizadas as seguintes características:

- Vão livre: - 20 metros
- Distância entre os pórticos transversais: - 6 metros
- Altura da coluna: - 6 metros
- Flecha no meio do vão: - 4 metros
- Comprimento: - 60 metros

O caso de carga crítica é apresentado na Figura 18, onde se pode observar que a maior força agindo na cobertura é equivalente a  $0,85 \text{ KN/m}^2$ , ou seja, o caso em que se solicita mais da estrutura, portanto, assim como para a cobertura de duas águas, essa força é conferida para toda a cobertura. Tal valor é dividido pela área de influência de cada nó e atribuído a estes.



**Figura 18 – Caso de carga crítica para galpão em arco.**

Fonte: Chaves (2007).

Após a determinação das forças provenientes das ações calculam-se as combinações de modo a selecionar dentre elas, a que implica nas condições mais desfavoráveis para a estrutura, ou seja, a combinação que apresenta as maiores forças resultantes.

### 3.5 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

A combinação das ações com probabilidade de ocorrer simultaneamente define um carregamento sobre a estrutura. Devem-se realizar as diversas combinações possíveis, de modo a definir os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura.

Para a definição das forças axiais de tração e compressão solicitantes, utilizam-se as combinações últimas decorrentes dos estados-limites últimos (ELU), ou seja, provenientes do uso previsto para a edificação. Já para a determinação do deslocamento vertical do pórtico, utilizam-se as combinações de serviço decorrentes dos estados-limites de serviço (ELS), isto é, que podem atuar permanentemente, frequentemente ou raramente na estrutura.

#### 3.5.1 Combinações últimas

Para o caso da análise das forças axiais de tração e compressão solicitantes dos galpões graneleiros utilizam-se as combinações últimas normais, pois decorrem do uso previsto para a edificação. Para cada combinação, aplica-se a Expressão 2.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{G_{i,k}}) + \gamma_{q1} F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Q_{j,k}}) \quad (2)$$

Onde:

$F_{G_{i,k}}$  - Valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q_{1,k}}$  - Valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Q_{j,k}}$  - Valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

#### 3.5.2 Combinações de serviço

Para o caso da análise do deslocamento vertical do pórtico dos galpões graneleiros utilizam-se as combinações raras de serviço de acordo com as

considerações da tabela C.1 – Deslocamentos máximos presente na norma NBR 8800 (ABNT, 2008). Para cada combinação, aplica-se a Expressão 3.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{G_{i,k}} + F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n (\psi_{1j} F_{Q_{j,k}}) \quad (3)$$

Observa-se que as expressões mencionadas, referentes às combinações possuem coeficientes de ponderação das ações ( $\gamma$ ), bem como fatores de combinação ( $\psi_0$ ) e redução ( $\psi_1$  e  $\psi_2$ ) para as ações variáveis. Estes parâmetros são definidos pelas Tabelas 1 e 2 da norma NBR 8800 (ABNT, 2008), apresentadas nas Figuras 19 e 20.

Tabela 1 — Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_r = \gamma_{fl} \gamma_{fl}$

Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_p$ ) <sup>a,c</sup>					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>a,d</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>b</sup>	Ação do vento	Ações truncadas <sup>e</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

Figura 19 – Valores dos coeficientes de ponderação de ações.

Fonte: NBR 8800, 2008.

**Tabela 2 — Valores dos fatores de combinação  $\psi_0$  e de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  para as ações variáveis**

Ações		$\gamma_{f2}^a$		
		$\psi_0$	$\psi_1^d$	$\psi_2^e$
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b)</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>c)</sup>	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

**Figura 20 – Valores dos coeficientes de ponderação de ações.**

Fonte: NBR 8800, 2008.

Efetuada as combinações e definida a mais desfavorável à estrutura, locam-se os carregamentos nos nós do banzo superior da treliça e insere-os no programa de análise estrutural, para que os resultados obtidos sejam comparados com os parâmetros de cálculo.

### 3.6 VERIFICAÇÕES DE RESISTÊNCIA

Para verificar se o sistema estrutural suporta os esforços a ele impostos é necessário calcular a resistência axial das barras da treliça a tração e a compressão, bem como a flecha máxima do pórtico.

#### 3.6.1 Determinação da força axial de tração resistente de cálculo

Para o dimensionamento deve ser atendida a condição indicada pela Expressão 4:

$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd} \quad (4)$$

Onde:

$N_{t,Ed}$  – Força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$  – Força axial de tração resistente de cálculo.

Calcula-se a força axial resistente de cálculo para as situações:

a) Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (5)$$

b) Ruptura da seção líquida:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (6)$$

Onde:

$f_y$  – Resistência ao escoamento do aço;

$f_u$  – Resistência à ruptura do aço;

$A_g$  – Área bruta da seção transversal da barra;

$A_e$  – Área líquida da seção transversal da barra, dada por:

$$A_e = C_t A_n \quad (7)$$

Onde:

$A_n$  – Área líquida da barra;

$C_t$  – Coeficiente de redução da área líquida.

Segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), nas barras com seções transversais abertas, deve-se utilizar um valor para  $C_t$  entre 0,6 e 0,9.

Os valores dos coeficientes de ponderação das resistências  $\gamma_m$  são dados pela Tabela 3 da norma NBR 8800 (ABNT, 2008), apresentada na Figura 21.

Tabela 3 — Valores dos coeficientes de ponderação das resistências  $\gamma_m$ 

Combinações	Aço estrutural <sup>a</sup>		Concreto $\gamma_c$	Aço das armaduras $\gamma_s$
	$\gamma_a$			
	Escoamento, flambagem e instabilidade $\gamma_{a1}$	Ruptura $\gamma_{a2}$		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

<sup>a</sup> Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

Figura 21 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências.

Fonte: NBR 8800, 2008.

Portanto, pode-se calcular o escoamento da seção bruta, bem como a ruptura da seção líquida, de modo a verificar qual o menor valor obtido, este será a força axial de tração resistente de cálculo. Tal procedimento é realizado para cada categoria de barra. Caso atendida a expressão 3, ou seja, se a maior força de tração solicitante, considerando-se os estados-limites últimos, for menor ou igual à força de tração resistente, a barra analisada resiste às cargas atuantes.

### 3.6.2 Determinação da força axial de compressão resistente de cálculo

Para o dimensionamento deve ser atendida a condição indicada pela Expressão 8:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (8)$$

Onde:

$N_{t,Sd}$  – Força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$  – Força axial de compressão resistente de cálculo.

Calcula-se a força axial resistente de cálculo de acordo com a Expressão 9:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (9)$$

Onde:

$\chi$  – Fator de redução associado à resistência à compressão;

$Q$  – Fator de redução total associado à flambagem local;

$A_g$  – Área bruta da seção transversal da barra.

O fator de redução associado à resistência à compressão  $\chi$ , é dado pelas Expressões 10 e 11 de acordo com o caso:

$$\text{- Para } \lambda_0 \leq 1,5 : \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad (10)$$

$$\text{- Para } \lambda_0 > 1,5 : \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (11)$$

Onde:

$\lambda_0$  – Índice de esbeltez reduzido, dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (12)$$

Onde:

$N_e$  – Força axial de flambagem elástica, obtida conforme Expressão 13:

$$N_e = \frac{\pi^2 E I}{L_{ef}^2} \quad (13)$$

Onde:

$E$  – Módulo de elasticidade do aço;

$I$  – Menor momento de inércia da barra;

$L_{ef}$  – Comprimento efetivo da barra, dado pela Equação 14:

$$L_{ef} = k \cdot L \quad (14)$$

Onde:

$k$  – Índice de flambagem;

$L$  – comprimento da barra.

A norma NBR 8800 (ABNT, 2008), traz na tabela E.1 os coeficientes de flambagem  $k$ , como apresentado na Figura 22.

**Tabela E.1 – Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados**

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de $K_x$ ou $K_y$	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

**Figura 22 – Coeficiente de flambagem.**

Fonte: NBR 8800, 2008.

Já para a obtenção do fator de redução total associado à flambagem local  $Q$ , a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) traz a condição:

$$\text{Se } \frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{lim}, \quad Q = 1,0; \quad (15)$$

Onde:

$b$  – Largura do elemento da barra;

$t$  – espessura do elemento da barra.

Os valores para  $\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}$  são apresentados na Tabela F.1 da norma NBR 8800 (ABNT, 2008), conforme Figura 23.

**Tabela F.1 — Valores de  $(b/t)_{lim}$**

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de $b$ e $t$	$(b/t)_{lim}$
AA	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares</li> <li>— Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas</li> </ul>		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Almas de seções I, H ou U</li> <li>— Mesas ou almas de seção-caixão</li> <li>— Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1</li> </ul>		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento</li> </ul>		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

**Figura 23 – Valores de  $(b/t)_{lim}$ .**  
Fonte: Adaptado de NBR 8800, 2008.

Desta forma, é possível calcular a força axial de compressão resistente de cálculo. Tal procedimento é realizado para cada uma das barras de barra, visto que seus comprimentos variam. Caso atendida a expressão 8, ou seja, se a força de compressão solicitante, considerando-se os estados-limites últimos, for menor ou igual à força de compressão resistente, a barra em análise suporta às cargas atuantes.

### 3.6.3 Determinação das flechas máximas

Para a verificação das flechas máximas utiliza-se as combinações oriundas do estado limite de serviço (ELS). O *software Ftool* apresenta a configuração de deformação do pórtico onde se podem observar as flechas incidentes na estrutura. Tais flechas devem ser comparadas com a flecha máxima que o pórtico suporta no vão em análise, ou seja, a flecha limite. A expressão que apresenta a flecha limite é

resultante da divisão do comprimento do vão em análise por um fator dado pela Tabela C.1 da norma ABNT NBR 8800, como apresentado na Figura 24.

**Tabela C.1 — Deslocamentos máximos**

Descrição	$\delta^a$
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura <sup>g)</sup>	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura <sup>g)</sup>	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: <sup>j)</sup>	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
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	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

**Figura 24 – Deslocamentos máximos.**

Fonte: NBR 8800, 2008.

Onde,  $L$  é o comprimento do vão em análise.

Deve-se então comparar a flecha de maior comprimento obtida na configuração de deformação com a flecha máxima suportada pelo pórtico de acordo com a Equação 16:

$$\delta \leq \delta_{lim} \quad (16)$$

Caso estes três critérios forem atendidos, a configuração de perfis e treliça suporta o carregamento a ela imposto.

## 4 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO

Como a proposta desse trabalho consiste na elaboração de uma configuração de treliça que minimize o acúmulo de impurezas em sua estrutura mantendo a estabilidade estrutural, segue os procedimentos de cálculo.

A partir dos pórticos que se sobressaíram nos quesitos taxa de consumo de aço e quanto ao deslocamento vertical do pórtico, por sua resistência, no caso, a treliça de banzos paralelos e a treliça em arco, foram realizadas e simuladas modificações em componentes, assim como em suas posições até a obtenção da melhor configuração técnica para os armazéns graneleiros.

Inicialmente foram realizadas análises para a treliça de banzos paralelos e posteriormente análises para a treliça em arco, possuindo ambas o mesmo procedimento de cálculo, apresentados a seguir.

### 4.1 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CÁLCULO PARA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS – VÃO DE 20 m

Para sugerir modificações na estrutura da treliça deve-se partir de uma configuração inicial. Para tal será utilizado um pórtico sugerido por Chaves (2007), comumente utilizado em galpões.

A configuração inicial de treliça proposta é composta por banzos paralelos sendo de ampla utilização em estruturas metálicas e será caracterizada por apresentar os banzos superior e inferior no perfil U, sendo o banzo superior com a concavidade para baixo e o banzo inferior posicionado com a concavidade para cima, as barras montantes e diagonais no perfil de dupla cantoneira. A Figura 25 apresenta um exemplo de treliça onde se pode observar tal configuração.



Figura 25 – Treliça com configuração comumente utilizada.

Fonte: O calculista de aço (2017).

Constata-se na Figura 25 que as barras diagonais e montantes encontram encaixadas dentro da concavidade dos banzos de perfil U, facilitando a ligação, no caso soldada. Os perfis componentes dessa configuração de treliça são apresentados na Figura 26 com suas respectivas propriedades.

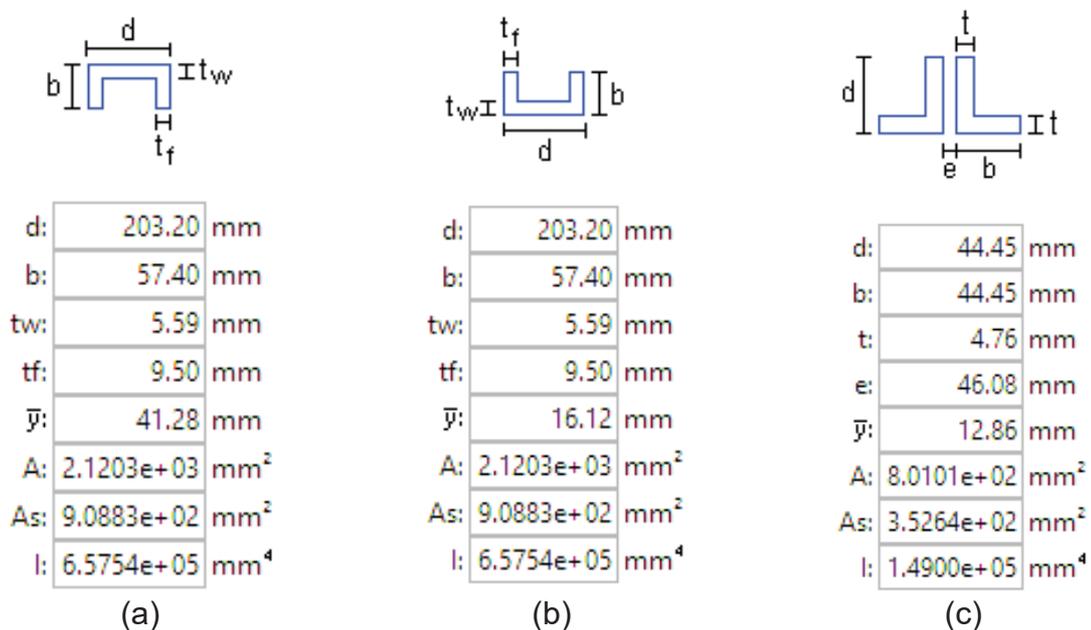


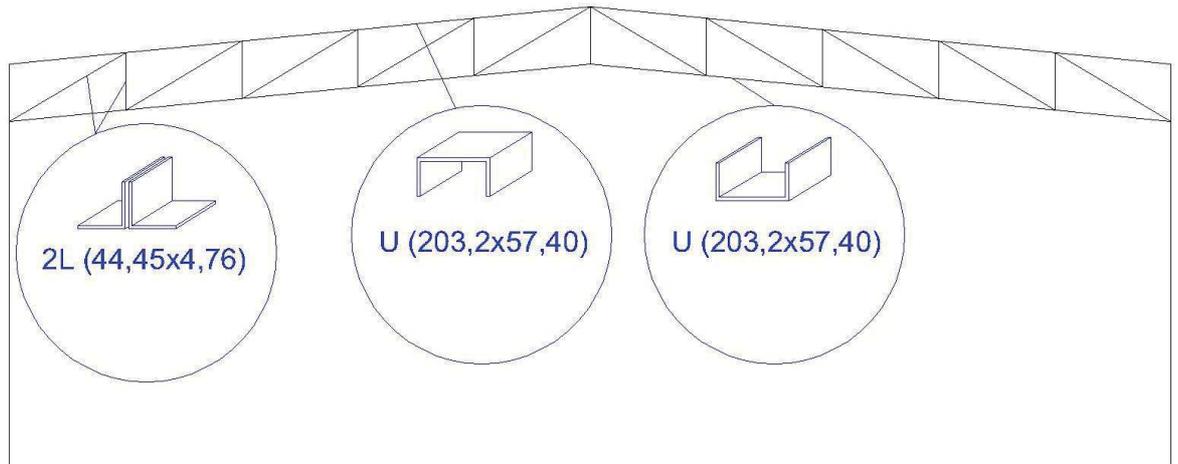
Figura 26 – Perfis componentes da configuração inicial: (a) Perfil U com concavidade para baixo; (b) Perfil U com concavidade para cima; (c) Perfil de dupla cantoneira.

Fonte: Autoria própria (2018).

As bitolas dos perfis foram retiradas do catálogo da Gerdau.

#### 4.1.1 Cálculo dos carregamentos

A configuração inicial composta por treliça de bantos paralelos possui inclinação de 6% nas águas da cobertura, além de possuir 11 nós na parte superior. A Figura 27 apresenta a configuração da treliça inicial.



**Figura 27 – Configuração inicial de treliça de bantos paralelos.**

Fonte: Autoria própria (2018).

Observa-se na Figura 27 a especificação da bitola dos perfis da configuração inicial de treliça. Para tal arranjo pode-se calcular o peso próprio, como esquematizado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Cálculo do peso próprio da tesoura de cobertura.**

Peso Próprio (kN)				
Barra	Banzo Sup.	Banzo Inf.	Montante	Diagonal
nº	10	10	11	10
L (m)	2,01	2,01	1	2,332
Área (m <sup>2</sup> )	0,002168	0,002168	0,0008	0,0008
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	77	77	77	77
Peso (kN)	3,36	3,36	0,68	1,44
Total (kN)	8,82			

Fonte: Autoria própria (2018).

Tendo o peso próprio total deve-se distribuí-lo nos nós. Como a treliça apresenta uma uniformidade no decorrer de seu comprimento pode-se dividir o peso total igualmente na área de influencia de cada nó.

Visto que se possui um peso próprio de 8,82 kN deve-se distribuir pelos 11 nós da cobertura da treliça, sendo que os laterais possuem menor área de influência. Portanto o peso próprio causam nos nós laterais uma força de 0,44 kN e nos demais nós uma força de 0,88 kN.

Além disso, devem ser calculadas as forças resultantes nos nós superiores da treliça, referentes à sobrecarga e a ação do vento. Tais resultados são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

**Tabela 4 – Cálculo da sobrecarga.**

Sobrecarga			
L Long. (m)	2	1	2
L Transv. (m)	6	6	6
nº Nós	11	Nó	Nó
Vão (m)	20	Lateral	Central
Q (kN/m <sup>2</sup> )	0,25	1,5 kN	3 kN

Fonte: Aatoria própria (2018).

**Tabela 5 – Cálculo da ação do vento.**

Vento			
L Long. (m)	2	1	2
L Transv. (m)	6	6	6
nº Nós	11	Nó	Nó
Vão (m)	20	Lateral	Central
W (kN/m <sup>2</sup> )	0,6	(-)3,6 kN	(-)7,2 kN

Fonte: Aatoria própria (2018).

Observa-se na Tabela 5 que, por atuar, a força do vento, na direção vertical, sentido para cima, é considerada negativa.

Tendo determinado as forças com probabilidade de incidência sobre a estrutura, podem-se calcular as combinações de ações para obter o carregamento mais desfavorável à estrutura. Portanto, com base nas tabelas apresentadas nas Figuras 19 e 20 calcula-se:

a) Combinações do Estado-Limite Último:

- $C1 = 1,25 G + 1,5 Q$
- $C2 = 1,0 G + 1,4 W$

b) Combinação do Estado-limite de Serviço:

- $C1 = 1,0 G + 0,6 Q$
- $C2 = 1,0 G + 1,0 W$

Nota-se que a força de vento atua perpendicularmente sobre a cobertura da treliça, portanto tal força deve ser decomposta nos eixos vertical e horizontal.

Para o caso em análise, portanto, efetua-se o cálculo das combinações de ações, conforme exposto pela Tabela 6.

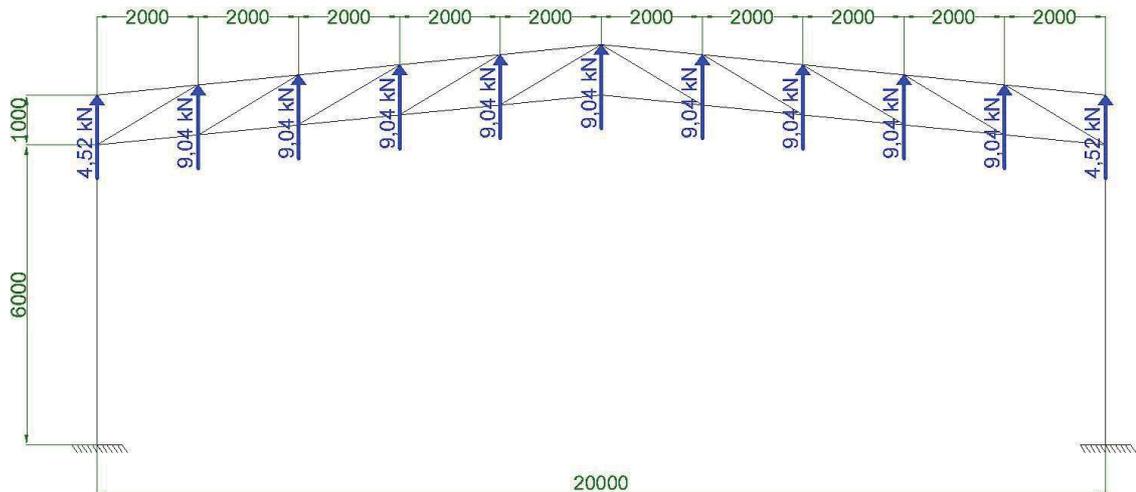
**Tabela 6 – Cálculo das combinações de ações.**

Nó	Lateral (kN)	Central (kN)
G	0,44	0,88
Q	1,50	3,00
W	-3,55	-7,09
ELU		
C1	2,80	5,60
C2	-4,52	-9,04
ELS		
C1	1,34	2,68
C2	-3,10	-6,21

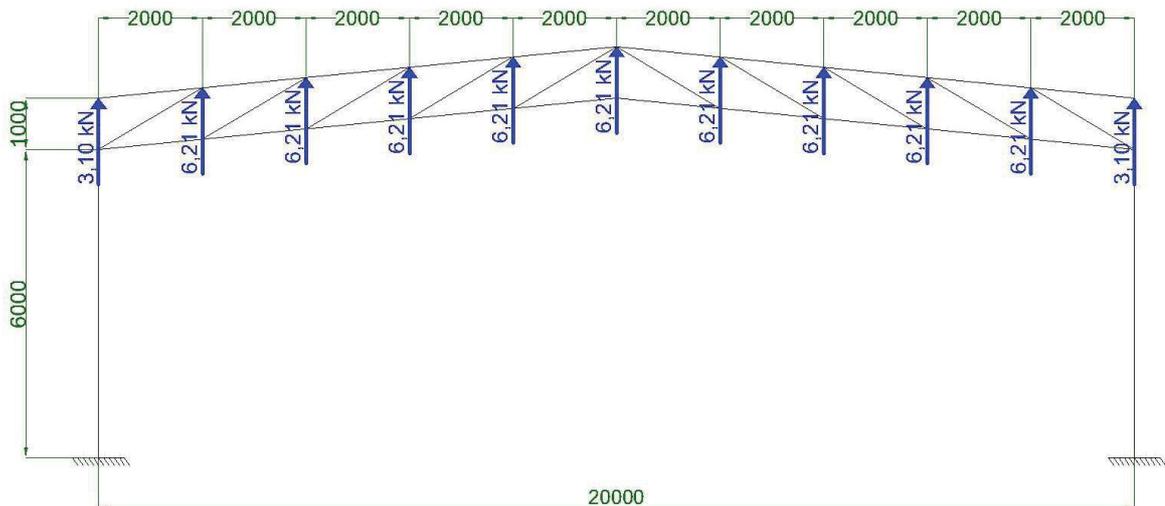
Fonte: Autoria própria (2018).

Verifica-se na Tabela 6 que tanto para ELU como para ELS o caso mais desfavorável é o C2. O sinal negativo que antecede a força é referente à uma resultante no sentido para cima. Portanto aplicam-se tais carregamentos na treliça inserida no *software Ftool*.

As Figuras 28 e 29 apresentam o pórtico com seus devidos carregamentos para os casos de ELU e ELS, respectivamente. As dimensões dos comprimentos são dadas em milímetros.



**Figura 28 – Carregamento incidente nos nós proveniente da Combinação C2 para ELU.**  
Fonte: Autoria própria (2018).



**Figura 29 – Carregamento incidente nos nós proveniente da Combinação C2 para ELS.**  
Fonte: Autoria própria (2018).

Posteriormente, tendo realizado as combinações dos esforços, insere-se os dados referentes às propriedades do aço, parâmetros do perfil no *software Ftool* para obtenção dos esforços solicitantes em cada barra da treliça, bem como o deslocamento vertical do pórtico.

As propriedades do material utilizado, no caso o aço ASTM A36, liga de uso mais frequente no mercado, segundo NBR 8800 (2008), seguem listadas:

- Módulo de Elasticidade ( $E$ ) = 200 GPa
- Tensão de escoamento ( $f_y$ ) = 250 MPa

- Tensão de ruptura ( $f_u$ ) = 400 MPa
- Peso específico ( $\gamma$ ) = 77 kN/m<sup>3</sup>
- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) = 0,26

O pórtico treliçado desenhado no software *Ftool*, contém colunas engastadas nas bases e ligações entre as barras rotuladas, implicando no anulamento das forças cisalhantes.

Tendo a configuração inicial inserida no programa de análise estrutural, com suas devidas propriedades, geometria, perfis e carregamentos, pode-se partir para a verificação de resistência.

#### 4.1.2 Verificação da força axial de tração

São calculadas as situações de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida para as barras da treliça. Será apresentado o cálculo para as barras dos banzos, sendo que o mesmo procedimento de cálculo é realizado para as demais categorias de barras. A barra em análise é composta por perfil U, cuja área da seção é igual a 2120,3 mm<sup>2</sup>. Além disso, observa-se na Figura 21 que para as combinações normais, para o material de aço estrutural, utilizam-se no escoamento um coeficiente de  $\gamma_{a1} = 1,1$  e na a ruptura um coeficiente de  $\gamma_{a2} = 1,35$ .

##### a) Escoamento da Seção Bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{2120,3 \cdot 250}{1,1} = 481,82 \text{ kN}$$

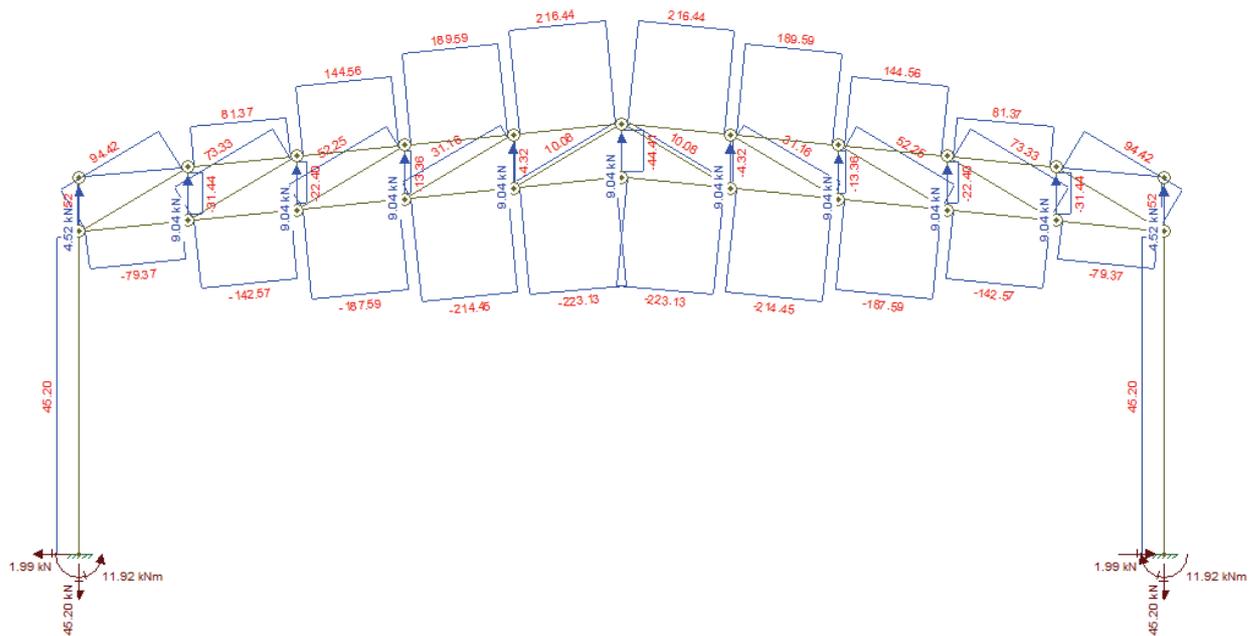
##### b) Ruptura da seção líquida:

Como as barras não possuem furação, a área bruta é equivalente à área líquida. Além disso, para as análises do presente trabalho será adotado  $C_t = 0,8$ .

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,8 \cdot 2120,3 \cdot 400}{1,35} = 502,52 \text{ kN}$$

Observa-se que a resistência ao escoamento é menor que à ruptura, ou seja, o escoamento ocorreria antes, no caso de carregamentos superiores, portanto deve-se utilizá-lo como força de tração resistente.

Definida a força axial de tração resistente de cálculo, deve-se compará-la com a força de tração solicitante. A Figura 30 apresenta o diagrama do esforço normal obtido pelo *software Ftool* para a treliça em análise sujeita ao carregamento do ELU.



**Figura 30 – Diagrama do esforço normal para ELU.**

Fonte: Autoria própria (2018).

O diagrama do esforço normal apresenta as forças axiais a que as barras estão sujeitas, sendo a tração valores positivos e a compressão valores negativos. Sendo assim, pode-se observar que a barra dos banzos sujeita a maior força de tração está na barra central do banzo superior e equivale a 216,44 kN.

Portanto sucede-se com a verificação:

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

$$216,44 \text{ kN} \leq 481,82 \text{ kN}$$

Logo, as barras do banzo resistem às forças axiais de tração. A mesma análise é realizada para as outras categorias de barras da treliça.

#### 4.1.3 Verificação da força axial de compressão

Assim como a verificação de tração, são apresentados os cálculos referentes às barras do banzo, porém o mesmo procedimento é realizado para as demais barras. A barra em análise é composta por perfil U, cujo comprimento é igual a 2,01 m, e momento de inércia é igual a 657540 mm<sup>4</sup>.

Para realizar o cálculo da força de compressão resistente devem-se determinar previamente o fator de redução associado à resistência à compressão ( $\chi$ ), bem como o fator de redução total associado à flambagem local ( $Q$ ).

##### a) Fator de flambagem total $Q$

Para determinar o valor do fator  $Q$  deve-se realizar a verificação do  $(b/t)_{lim}$ . A barra em análise possui um perfil U (203,2 x 57,40), cuja alma possui um comprimento de  $b = 203,2$  mm e uma espessura  $t = 5,08$  mm.

$$\frac{b}{t} = \frac{203,2}{5,08} = 36,35$$

Conforme a Figura 23, para o caso de almas de seções U, utiliza-se para  $(b/t)_{lim}$  a seguinte expressão:

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200}{250}} = 42,14$$

Calculados os valores devem ser comparados:

$$\text{- Se } \frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{lim}, Q = 1,0;$$

$$36,35 \leq 42,14 \therefore Q = 1,0$$

##### b) Fator de redução $\chi$

Pode-se observar na Figura 22 que as barras da treliça em análise correspondem à situação (d), pois ambas as extremidades possuem rotação livre e

translação impedida. Sendo assim o coeficiente de flambagem (k) igual a 1,0. Portanto segue-se:

$$L_{ef} = 1,0 \cdot 2010 = 2010 \text{ mm}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 E I}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 657540}{2010^2} = 321,26 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 2120 \cdot 250}{321,26 \cdot 10^3}} = 1,28$$

- Para  $\lambda_0 \leq 1,5$  :  $\chi = 0,658^{\lambda_0^2}$

$$\chi = 0,658^{1,28^2} = 0,50$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,50 \cdot 1,0 \cdot 2120 \cdot 250}{1,1} = 241,55 \text{ kN}$$

Nota-se que a resistência à compressão da barra equivale a 241,55 kN. Assim sendo, definida a força axial de compressão resistente de cálculo, deve-se compará-la com a força de compressão solicitante. Verifica-se no diagrama do esforço normal apresentado na Figura 30 que a barra dos banzos sujeita à maior força de compressão se encontra no banzo inferior central e equivale a 223,13 kN.

Portanto sucede-se com a verificação:

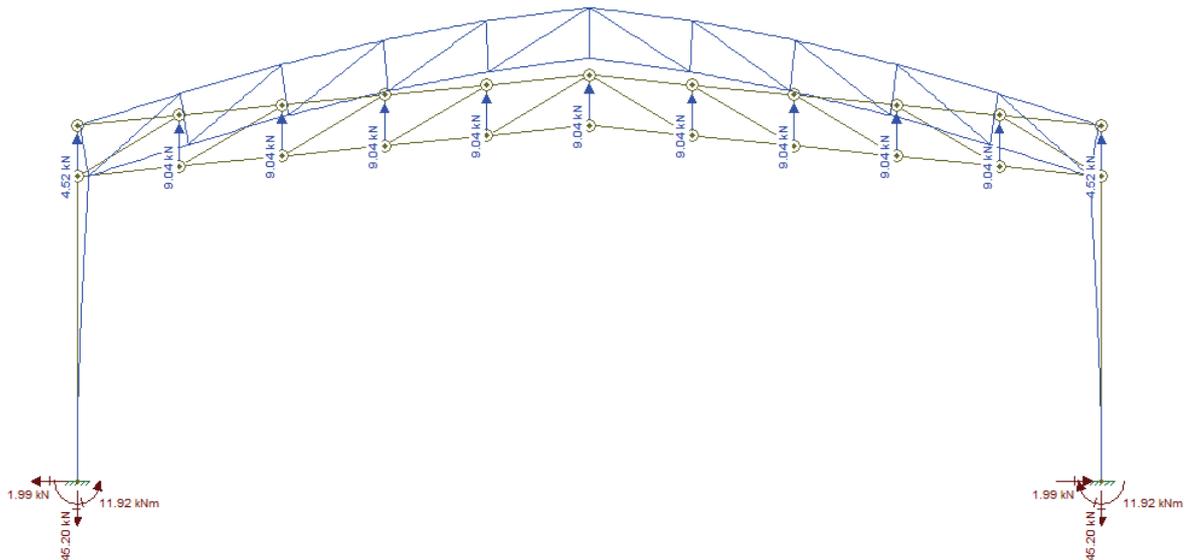
$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$$

$$223,13 \text{ kN} \leq 241,55 \text{ kN}$$

Logo, as barras do banzo resistem às forças axiais de compressão. A mesma análise é realizada para as outras categorias de barras da treliça.

#### 4.1.4 Verificação do deslocamento máximo

Para determinar a flecha máxima utilizou-se o *software Ftool*. O mesmo apresenta a configuração de deformação para quaisquer pontos do pórtico, fornecendo em milímetros sua flecha quando aplicado o carregamento. Tal verificação é realizada utilizando os carregamentos provenientes das combinações do ELS. A Figura 31 exibe a configuração de deformação do pórtico em análise.



**Figura 31 – Configuração de deformação.**

Fonte: Autoria própria (2018).

Sabendo-se que o carregamento é uniformemente distribuído pode-se deduzir que a flecha máxima se encontra no centro do pórtico. Neste ponto o resultado fornecido pelo programa para a flecha é de 54,77 mm.

Em seguida deve-se proceder com os cálculos da flecha limite, sendo esta dada pela divisão do vão do pórtico (20 metros) pelo fator de deslocamento máximo, para o caso de vigas de cobertura é 250 conforme a Figura 24. Sendo assim tem-se:

$$\delta_{lim} = \frac{20000}{250} = 80 \text{ mm}$$

Pode-se, portanto comparar a flecha máxima do pórtico com a flecha limite:

$$\begin{aligned} \delta &\leq \delta_{lim} \\ 54,77 \text{ mm} &\leq 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Logo, a configuração da treliça suporta o carregamento sem apresentar uma flecha superior à admissível.

Depois de efetuada tais verificações, conclui-se que a configuração de treliça e de perfis em análise atende aos critérios de segurança, suportando as cargas impostas a ela. Os resultados da treliça de banzos paralelos de configuração inicial para o vão de 20 metros são apresentadas na Tabela 9 do Apêndice A.

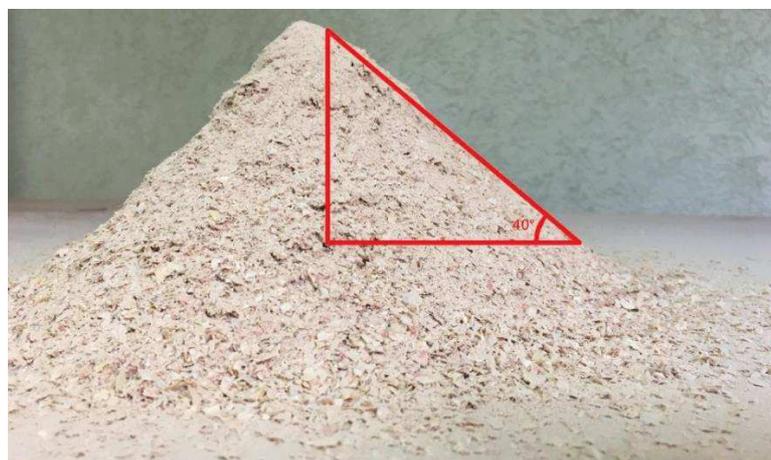
O mesmo procedimento de cálculo descrito no item 4.1 é utilizado nas demais configurações de treliça.

#### 4.2 MODIFICAÇÕES NA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS – VÃO 20 m

As modificações que devem ser realizadas na treliça inicial tratam de não permitir o acúmulo de impurezas nas barras constituintes da estrutura e isso é obtido na medida em que as impurezas escoem por gravidade, ou seja, estejam sujeitas à uma superfície cujo ângulo de inclinação seja maior que seu próprio ângulo de repouso. Sendo assim, realizou-se o ensaio de determinação do ângulo de repouso característico do material das impurezas.

##### 4.2.1 Determinação do ângulo de repouso das impurezas

Tendo coletado uma amostra de impurezas característica *in loco* realizou-se o ensaio para determinação do ângulo de repouso. A Figura 32 apresenta o ensaio e seu respectivo resultado.



**Figura 32 – Ensaio para determinação do ângulo de repouso das impurezas.**  
Fonte: Autoria própria (2018).

Tal ensaio foi realizado cinco vezes para que se obtivesse um valor coerente para a propriedade. A Tabela 7 apresenta os resultados e a média dos valores obtidos na realização do ensaio para determinação do ângulo de repouso das impurezas.

**Tabela 7 – Consumo de aço.**

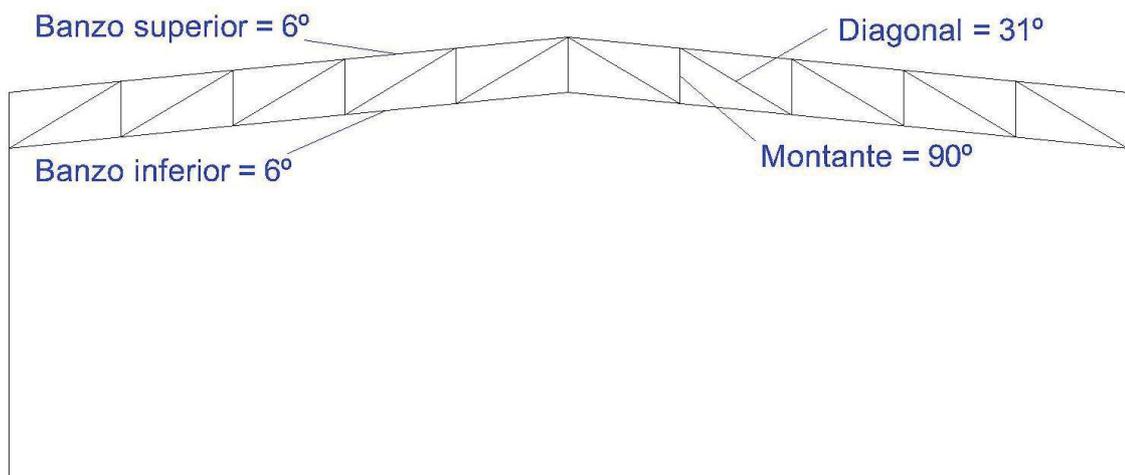
Resultado [°]	41	38	40	40	40
Média [°]	39,8				

Fonte: Autoria própria (2018).

A média resultante dos ensaios foi de 39,8°. Sendo assim, as barras da treliça devem possuir inclinação ou angulação superiores à esta para que a impureza não se acumule, mas escoe por gravidade.

#### 4.2.2 Modificações na inclinação das barras

Ao verificar a treliça constatou-se que algumas barras possuíam inclinações inferiores a 39,8°. A Figura 33 apresenta a inclinação das barras da treliça de configuração inicial.



**Figura 33 – Inclinação das barras da treliça na configuração inicial.**

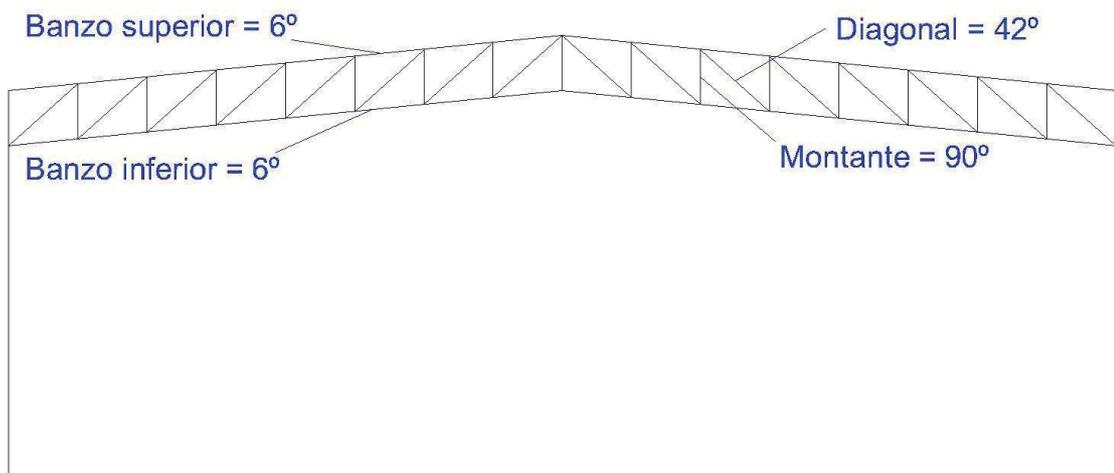
Fonte: Autoria própria (2018).

As demais barras possuem a mesma inclinação da barra de sua categoria.

Inicialmente verificou-se a possibilidade de aumentar tais inclinações. Como a inclinação dos banzos segue a inclinação da cobertura não pôde ser modificada, já

a inclinação das barras diagonais pôde sofrer ajuste. Uma forma de aumentar a inclinação das diagonais é inserindo mais nós à treliça.

Portanto verificaram-se quantos nós seriam necessário adicionar para que as barras diagonais atingissem inclinação superior a  $39,8^\circ$ . A Figura 34 apresenta a configuração de treliça com quantidade de nós aumentada e as respectivas inclinações das barras constituintes. Tal configuração receberá nomenclatura de Treliça 2.



**Figura 34 – Inclinação das barras da Treliça 2.**

Fonte: Autoria própria (2018).

Pode-se observar na Figura 34 que a treliça com 17 nós apresenta diagonais com inclinação superior ao ângulo de repouso das impurezas. Porém nota-se que o consumo de aço aumentou. Enquanto que a configuração inicial possui peso próprio igual a  $8,68 \text{ kN}$ , a Treliça 2 apresenta peso próprio igual a  $9,41 \text{ kN}$ , aumentando o consumo de aço em  $8,46\%$ .

Sendo assim, procederam-se os cálculos de carregamentos incidentes na estrutura e verificação de resistência para a Treliça 2 da mesma maneira que a configuração de treliça inicial como descrito no item 4.1 cujos resultados estão presentes no Apêndice A Tabela 10.

Pode-se observar na Tabela 10 do Apêndice A que a Treliça 2 resistiu com folga ao carregamento, portanto tentou-se reduzir a bitola dos perfis na nova configuração (Treliça 3). Os perfis utilizados na Treliça 3 são perfil U  $152,4 \times 48,77$  nos banzos e perfil de dupla cantoneira  $2L 44,45 \times 4,76$  nas montantes e diagonais, sendo estes posicionados da mesma maneira que nas treliças anteriores. Tais dimensões correspondem a uma bitola abaixo da usada anteriormente.

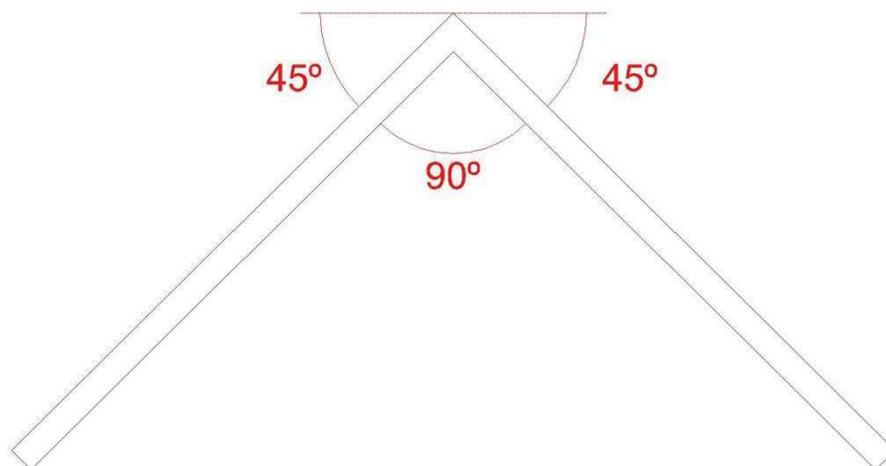
Desta forma, procederam-se os cálculos de carregamentos incidentes na estrutura e verificação de resistência para a Trelça 3 como descrito no item 4.1 cujos resultados estão presentes no Apêndice A Tabela 11.

Pode-se constatar na Tabela 11 do Apêndice A que a Trelça 3 resistiu ao carregamento. Além disso, verifica-se que ao diminuir uma bitola nos perfis o consumo de aço reduziu. A Trelça 3 possui peso próprio igual a 7,50 kN, sendo este equivalente a 86,43% do consumo de aço da Trelça de configuração Inicial.

A modificação da inclinação das diagonais obteve vantagens quanto ao consumo de aço e à minimização do acúmulo de impurezas. Porém o problema do acúmulo não seria resolvido já que o material das impurezas escorreria das diagonais e montantes e se depositaria na concavidade do perfil U do banzo inferior, já que este não pôde ter sua inclinação alterada. Portanto analisou-se a mudança do perfil dos banzos.

#### 4.2.3 Modificação no perfil dos banzos

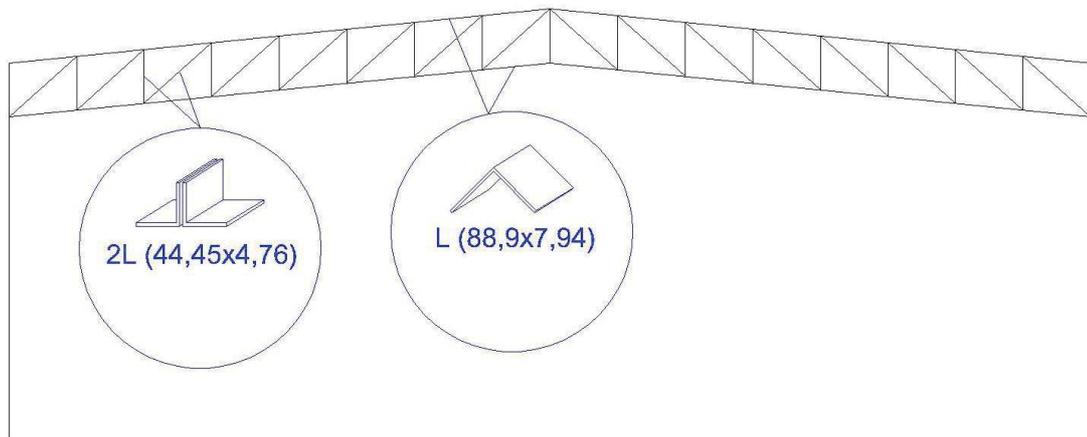
Ao analisar os perfis existentes no mercado para escolher um que pudesse ser utilizado de maneira a permitir o escoamento das impurezas por gravidade notou-se que o perfil de cantoneira quando rotacionado com a concavidade para baixo apresenta suas abas em inclinação de 45°. A Figura 35 mostra o perfil de cantoneira rotacionado a angulação entre as abas.



**Figura 35 – Perfil de cantoneira rotacionada com a concavidade para baixo.**  
Fonte: Autoria própria (2018).

Nota-se na Figura 35 que o ângulo formado entre as abas da cantoneira e a horizontal é de  $45^\circ$ , inclinação esta superior ao ângulo de repouso das impurezas ( $39,8^\circ$ ). Assim sendo, ao substituir o perfil U presente nos banzos pelo perfil de cantoneira rotacionada, fará com que o material que escorre nas barras montantes e diagonais, chegue ao banzo e escoe também por gravidade.

Desta forma escolheu-se a bitola do perfil que encaixasse nas barras montantes e diagonais, chegando ao perfil de cantoneira L 76,2x6,35. Esta configuração recebe o nome de Trelça 4. As barras montantes e diagonais permaneceram com o mesmo perfil e bitola da Trelça 3. A Figura 36 apresenta a configuração da Trelça 4.



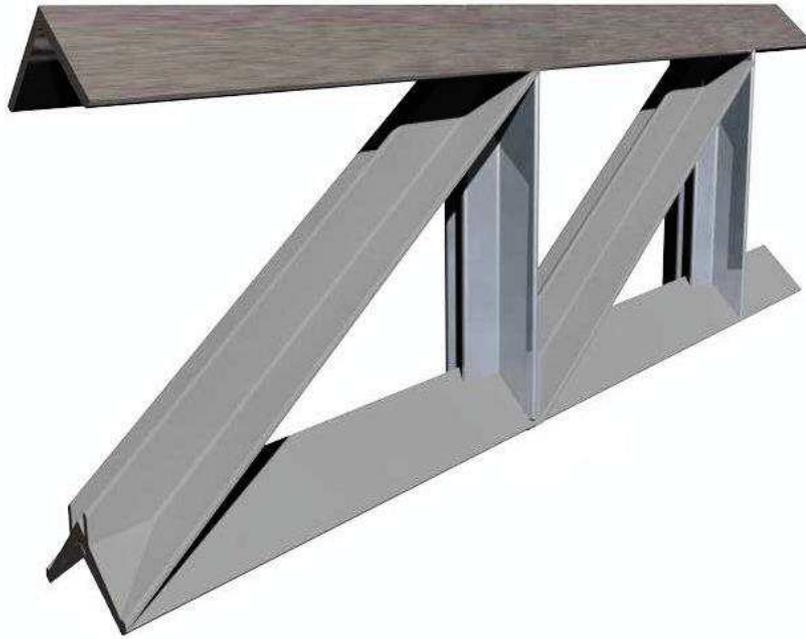
**Figura 36 – Configuração da Trelça 4.**

Fonte: Autoria própria (2018).

Sendo assim, efetuou-se os cálculos de carregamentos incidentes na estrutura e verificação de resistência para a Trelça 4 como descrito no item 4.1 cujos resultados estão presentes no Apêndice A Tabela 12.

Pode-se observar na Tabela 12 do Apêndice A que a Trelça 4 resistiu ao carregamento. Além disso, verifica-se que a substituição dos perfis U pelo perfil de cantoneira causa uma redução no consumo de aço. A Trelça 4 possui peso próprio igual a 6,88 kN, sendo este equivalente a 79,25% do consumo de aço da Trelça de configuração Inicial.

Portanto a configuração da Trelça 4 atendeu os requisitos técnicos dimensionais aliados à redução do potencial acúmulo de impurezas em seus elementos construtivos. A Figura 37 apresenta a configuração da Trelça 4 num modelo 3D.

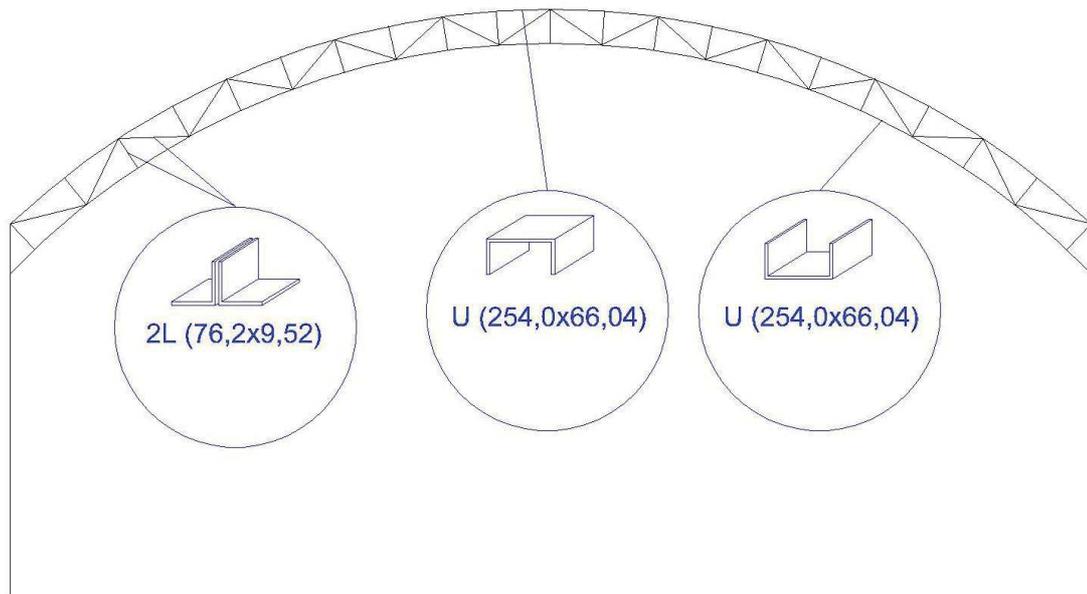


**Figura 37 – Modelo 3D da Treliza 4.**  
Fonte: Autoria própria (2018).

Nota-se na Figura 37 que esta treliça não possui nenhum ponto de acúmulo de impurezas. Entretanto, o banzo superior possui um canto vivo onde são apoiadas as terças, portanto deve ser utilizadas cunhas nesse contato.

#### 4.3 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CÁLCULO PARA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA ARCO – VÃO DE 20 m

Além do pórtico de banzos paralelos, outro pórtico sugerido por Chaves que se sobressai nos quesitos taxa de consumo de aço e quanto ao deslocamento vertical do pórtico por sua resistência é a treliça em arco. Para essa configuração serão realizadas modificações, tanto na inclinação, posição e rotação das barras, quanto mudanças de perfis e alteração na quantidade de nós do pórtico. Isto para conferi-lo uma redução do potencial acúmulo de impurezas em seus elementos construtivos além de atender os requisitos técnicos dimensionais. A Figura 38 apresenta a configuração inicial da treliça em arco para um vão de 20 metros.



**Figura 38 – Configuração inicial de treliça em arco.**

Fonte: Autoria própria (2018).

Observa-se na Figura 38 a bitola dos perfis utilizados nessa configuração, sendo o banzo superior constituído pelo perfil U (254,0x66,04) com concavidade para baixo, o banzo inferior pelo mesmo perfil U, porém com a concavidade voltada para cima e as barras diagonais e montantes constituídas pelo perfil de dupla cantoneira 2L (76,2x9,52). Também se pode observar que a treliça possui 21 nós em sua parte superior. Ainda, verifica-se que a inclinação das barras diagonais varia alternadamente, fazendo com que o ângulo de inclinação em alguma das barras seja muito abaixo do ângulo de repouso da impureza.

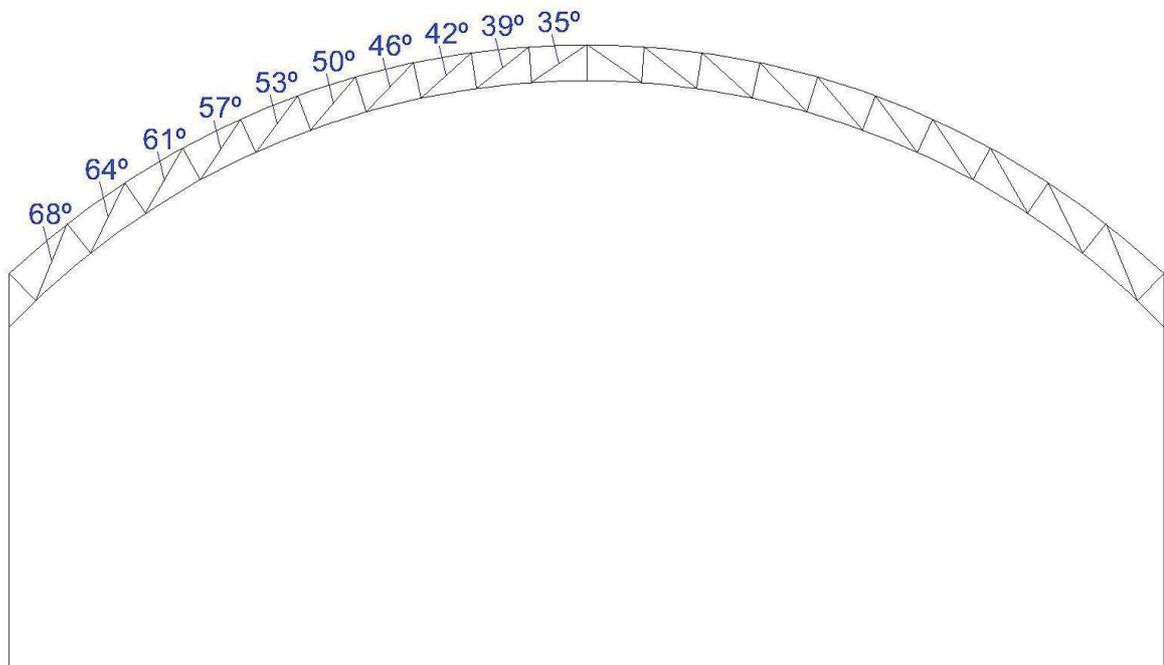
Portanto, procederam-se os cálculos de carregamentos incidentes na estrutura e verificação de resistência para a Configuração inicial de treliça em arco da mesma maneira que a configuração inicial de treliça de banzos paralelos como descrito no item 4.1 cujos resultados estão presentes no Apêndice A Tabela 13.

Pode-se verificar na Tabela 13 do Apêndice A que a configuração inicial de treliça em arco resistiu ao carregamento. Tendo peso próprio equivalente à 18,43 kN. Porém tal pórtico apresenta vulnerabilidades quanto ao acúmulo de impurezas, sendo assim serão aplicadas modificações na treliça para que seja minimizado este acúmulo.

#### 4.4 MODIFICAÇÕES NA CONFIGURAÇÃO INICIAL DA TRELIÇA EM ARCO – VÃO 20 m

As modificações a serem realizadas na treliça inicial buscam permitir o escoamento por gravidade das impurezas que antes se acumulavam nos elementos construtivos da treliça, portanto devem-se dispor as barras de maneira em que as suas superfícies estejam sujeitas a um ângulo de inclinação superior ao ângulo de repouso das impurezas.

A primeira modificação a ser realizada na treliça é posicionar as diagonais para a mesma direção, sendo no lado esquerdo da treliça as diagonais partindo do canto inferior esquerdo até o canto superior direito e no lado direito da treliça as diagonais partindo do canto inferior direito até o canto superior esquerdo. Tal modificação implica na diminuição considerável do número de barras diagonais sujeitas à inclinação inferior a  $39,8^\circ$ , o ângulo de repouso das impurezas. A Figura 39 apresenta a treliça em arco com a modificação do direcionamento das barras diagonais e suas respectivas inclinações.



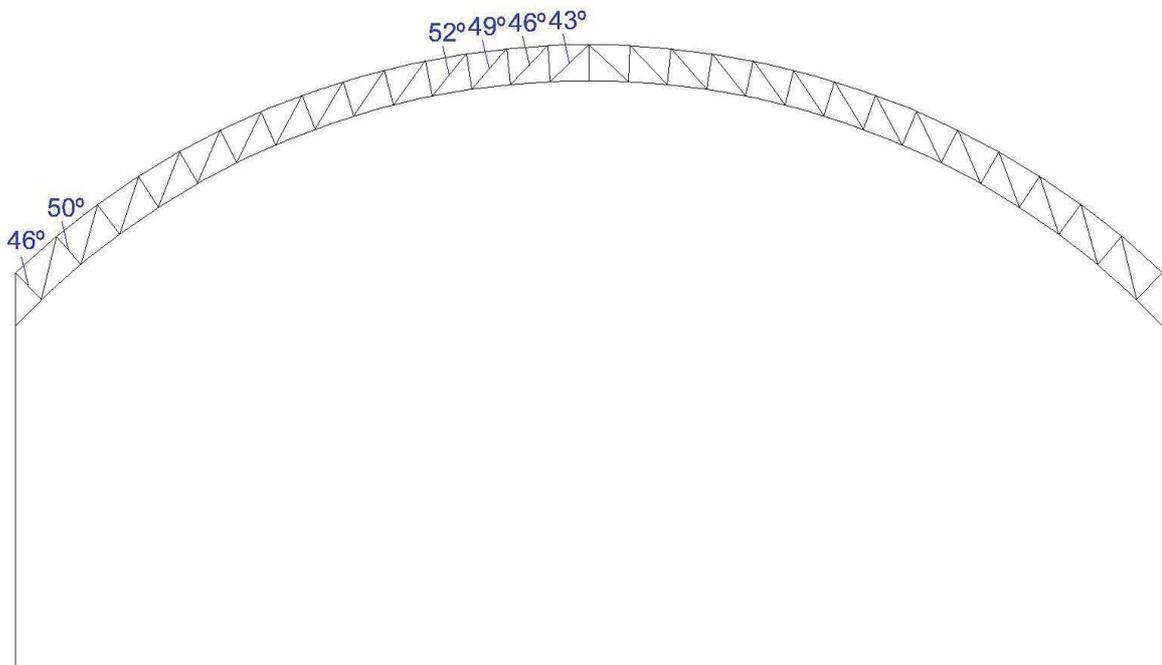
**Figura 39 – Treliça em arco com modificação no direcionamento das barras diagonais.**

Fonte: Autoria própria (2018).

Pode-se observar na Figura 39 que mesmo efetuando essa modificação, as barras diagonais centrais da treliça continuam com ângulo inferior a  $39,8^\circ$ . Ressalta-

se que o lado direito da treliça é semelhante ao lado esquerdo, sendo apenas espelhado, mas possuindo a mesma inclinação. Portanto ainda deve-se aumentar o número de nós de modo que todas as barras diagonais estejam inclinadas em ângulo superior a  $39,8^\circ$ .

Dessa forma verificaram-se quantos nós seriam necessário adicionar para que as barras diagonais atingissem inclinação superior a  $39,8^\circ$ . A quantidade de nós necessária foi de 29 nós na parte superior da treliça. A Figura 40 apresenta a configuração de treliça com quantidade de nós aumentada e as respectivas inclinações críticas das barras constituintes. As demais inclinações não especificadas, com exceção dos banzos, são superiores às apresentadas.



**Figura 40 – Treliça em arco com modificação na quantidade de nós.**

Fonte: Autoria própria (2018).

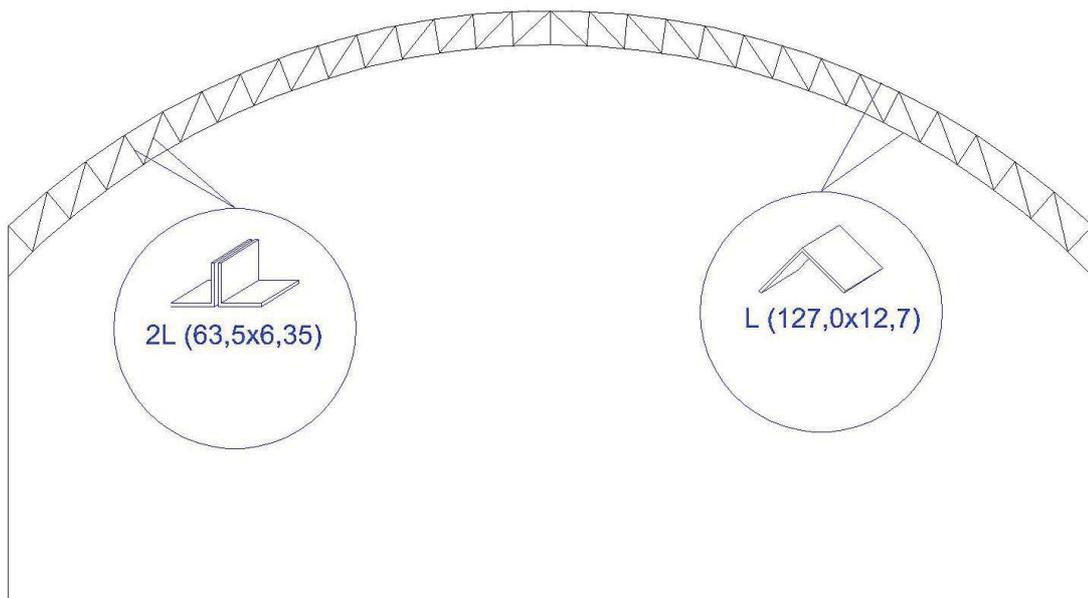
Verifica-se na Figura 40 que as barras de menor inclinação, sendo essas as barras montantes da extremidade e as barras diagonais centrais, possuem inclinação favorável ao escoamento das impurezas por gravidade, ou seja, são superiores a  $39,8^\circ$ .

Assim como na treliça de banzos paralelos apresentada anteriormente foi solucionado o problema do acúmulo de impurezas nos elementos das diagonais e montantes, porém a configuração atual não teria eficácia por conta de que o material das impurezas escorreria das diagonais e montantes e se depositaria na

concavidade do perfil U do banzo inferior, já que este não pôde ter sua inclinação alterada. Portanto analisou-se a mudança do perfil dos banzos.

Seguindo a mesma proposta sugerida à treliça de banzos paralelos efetuou-se a mudança do perfil dos banzos superior e inferior por uma cantoneira rotacionada com a concavidade para baixo. Essa modificação fará com que o material que escorre nas barras montantes e diagonais, chegue ao banzo e escoe também por gravidade.

Desta forma, determinou-se a bitola dos perfis que resistem ao carregamento, chegando ao perfil de cantoneira rotacionada com a concavidade para baixo L 127,0x12,7 para os banzos e perfil de dupla cantoneira 2L 63,5x6,35 para as barras montantes e diagonais. Essa configuração recebe o nome de Treliça 2. A Figura 41 apresenta a configuração da Treliça 2.



**Figura 41 – Configuração da Treliça 2.**

Fonte: Autoria própria (2018).

Para a Treliça 2 foram realizados os cálculos de carregamentos incidentes na estrutura e verificação de resistência como descrito no item 4.1 cujos resultados estão presentes no Apêndice A Tabela 14.

Sendo assim, constata-se na Tabela 14 do Apêndice A que a Treliça 2 em arco resistiu ao carregamento. Ainda, essa configuração possui menor consumo de aço, se comparada à configuração inicial de treliça em arco, sendo seu peso próprio

igual a 16,18 kN, ou seja 87,83% do consumo de aço da configuração inicial da treliça em arco.

Desta forma, a configuração de Treliça 2 atendeu os requisitos técnicos dimensionais aliados à redução do potencial acúmulo de impurezas em seus elementos construtivos.

Por fim, tendo apresentado as análises quanto ao desempenho estrutural e minimização do acúmulo de impurezas, realiza-se uma comparação da taxa de consumo de aço entre as treliças, conforme apresenta o capítulo 5.

## 5 ANÁLISE DO CONSUMO DE AÇO E DISCUSSÃO

Conforme apresentado nos resultados, as treliças modificadas apresentaram variações na taxa de consumo de aço. A Tabela 8 apresenta as treliças analisadas com seu respectivo peso próprio, consumo de aço e por fim uma comparação em porcentagem desse consumo relacionando-o com a treliça de configuração inicial.

**Tabela 8 – Consumo de aço.**

Treliça	Peso Próprio (kN)	Consumo de Aço (m <sup>3</sup> )	(%) Comparado à Configuração Inicial
<b>Treliça de Banzos Paralelos</b>			
Configuração Inicial	8,68	0,1127	100,00
Treliça 2	9,41	0,1223	108,46
Treliça 3	7,50	0,0974	86,43
Treliça 4 (Final)	6,88	0,0893	79,25
<b>Treliça em Arco</b>			
Configuração Inicial	18,43	0,2393	100,00
Treliça 2 (Final)	16,18	0,2102	87,83

Fonte: Autoria própria (2018).

Observa-se na Tabela 8 e nos resultados apresentados que para ambas as tipologias de treliças, a inclusão de nós causou um aumento do peso próprio, além do aumento da resistência, sendo assim possível substituir os perfis por outros de bitola menor. Esse fato causou um decréscimo do peso próprio das treliças e conseqüentemente uma diminuição do consumo de aço. Ainda, ao resolver a problemática do acúmulo de impureza nos banzos, a substituição do perfil U pelo perfil de cantoneira rotacionada, cuja área de seção transversal é inferior, reduziu ainda mais o consumo de aço.

Sendo assim, posteriormente às análises e resultados apresentados, foi possível obter as conclusões, como exposto no capítulo 6.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante às informações levantadas nessa pesquisa, pôde-se compreender que poucos dados existem a respeito do acúmulo de impurezas nos elementos de um sistema estrutural e sobre o ângulo de repouso das impurezas características dos locais de armazenagem agrícola. Entretanto, perante o alto índice de perdas de produtos agrícolas ocasionados por tal problema pôde-se sugerir configurações de treliças que inibissem ou minimizassem esse acúmulo.

Tal configuração de treliça tratou-se da modificação da quantidade de nós da treliça, bem como, do direcionamento das barras, para que suas inclinações fossem aumentadas, além da substituição dos perfis dos banzos pelo perfil de cantoneira rotacionada, tornando-a, desse modo, uma estrutura eficiente contra o acúmulo de impurezas.

As treliças de banzos paralelos e em arco apresentaram resultados excelentes, pois quando modificadas, além de atenderem ao quesito de redução do potencial acúmulo de impurezas nos elementos construtivos, apresentaram menor taxa de consumo de aço, sendo a treliça de banzos paralelos 22%, e a treliça em arco 12% mais leves que suas respectivas configurações iniciais. Visto que, a taxa de consumo de aço tem relação direta com o custo da treliça, as configurações modificadas apresentaram vantagens funcionais e econômicas em sua utilização. Dessa forma, demonstrou-se uma ótima opção para serem empregadas nas coberturas de galpões de armazenamento agrícola.

Ainda que, o consumo de aço permanecesse o mesmo, ou aumentasse, poder-se-ia averiguar se o prejuízo com a configuração modificada de treliça seria suprido pela redução do índice de perdas do produto na armazenagem e o prazo em que esses valores se compensariam. Porém, como não existem dados precisos com relação ao índice de perdas por contaminação proveniente do acúmulo de impurezas em galpões agrícolas, a situação é discutível.

Deve-se ressaltar ainda que, as análises realizadas no trabalho não levaram em conta os custos com mão de obra, instalação e produção das estruturas. Além disso, são válidas para o vão de 20 metros.

Portanto, os objetivos do trabalho foram atingidos, quando se sugeriu configurações que atendam os requisitos técnicos dimensionais aliados à redução do potencial acúmulo de impurezas em seus elementos construtivos. Tais

configurações foram validadas através de cálculos e análises que provam a fidelidade das informações.

As configurações de treliças modificadas apresentadas geraram uma redução dos custos com a matéria prima. Sendo assim, denota-se a vantagem de seus empregos por gerarem uma economia com a mão de obra de limpeza e manutenção de galpões, bem como uma redução dos prejuízos ao produtor provocados pelas perdas associadas ao ataque de pragas.

Apesar de todas as contribuições desse trabalho, ficam algumas sugestões para possíveis trabalhos futuros, conforme apresenta o item 6.1.

## 6.1 TRABALHOS FUTUROS

Com a elaboração desse trabalho, foi possível perceber que podem ser realizadas pesquisas e extensões complementares ao presente estudo. Seguem as sugestões:

- Realização da estimativa de economia de custos de produção, assim como da economia de custos de limpeza e manutenção de armazéns com a estrutura de treliça sugerida;
- Obtenção da estimativa da redução da perda da qualidade de produtos se aplicadas as soluções propostas;
- Variação de novos parâmetros como: comprimento do vão, inclinação da cobertura;
- Avaliação dos tipos de ligação que podem ser empregadas, bem como o dimensionamento das mesmas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C.; A.; NETO, J. C.; SELEME, R.; JUNIOR, S. L.; MULLER, S. I. G. **Comparação entre as Alternativas Portuárias Utilizadas na Exportação da Soja Brasileira com Destino à China**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção 1º. COMBREPRO, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projetos de Estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço - Projeto e Cálculo**. 5.ed. São Paulo: PINI, 2006.
- CAIXETA FILHO, J.V. **Transporte de produtos agrícolas sobre a questão de perdas**. Revista da economia e Sociologia Rural. Vol 39. N3 e 4. pg. 173-199. 1996.
- CENCI, S.A. **Perdas pós-colheita de Frutos e Hortaliças**. EMBRAPA/CTAA, Rio de Janeiro. 2000.
- CARVALHO NETO, C. **Controle de Pragas em Hospitais**. GTO 01.98, São Paulo. 1998.
- CHAVES, M. R. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais para galpões industriais leves**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Situação da Armazenagem no Brasil.2006. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 3 out. 2017.
- CRISOSTO, C.H.; JOHNSON, R.S.; DEJONG, T. **Orchard factors affecting post harvest stone fruit quality**. *HortScience*, v. 32, n. 5, p. 820-823, 1997.
- DOS REIS, J. G. M.; VENDRAMETTO, O.; NAAS, I. A.; COSTABILE, L.; MACHADO, S. T. **Avaliação das Estratégias de Comercialização do Milho em MS Aplicando o Analytic Hierarchy Process(AHP)**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v.54, n.1, p.131-146, 2016
- FAO. **Global food losses and food waste**. Internacional Congress Save Food. Rome, 2011.
- GERDAU. Catálogo de produtos.2015. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos>>. Acesso em 19 set. 2017.

IEA - Instituto de Economia Agrícola, **Pontos críticos de armazenagem**. Disponível em: <<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br>>. Acesso em: 04 out. 2017.

JARDINE, C. **Perdas: quando a produção não vai para o saco**. O Brasil Agrícola: A Granja. Nº 639. Pg. 12 –21. 2002.

McCORMAC, J. C. **Análise Estrutural: Usando Métodos Clássicos e Métodos Matriciais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009. 477 p.

MORAES, L.; MEIRA, T. **Navio Mineraleiro**. Projeto de Sistemas Oceânicos II: Relatório I. UFRJ, 2015.

O CALCULISTA DE AÇO. **Treliça com configuração comumente utilizada em estruturas metálicas V**. São José dos campos, 2017. Disponível em <<http://calculistadeaco.com.br/trelica-metalica-e-sempre-mais-economica/>>. Acesso em 16 abr. 2018.

PRAVIA, Z. M. et al. **Manual de construção em aço**. 4ª edição. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2010. 74p.

SILVA, F. S. et al. **Ângulo de repouso, atrito interno e efetivo dos grãos de café com pergaminho**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.8, n.1, p.17-23, 2006.

SILVA, J. S.; CAMPOS, M. G.; SILVEIRA, S. R. **Armazenagem e comercialização de grãos no Brasil: Cap. 1. Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda fácil, 2008. p. 1-19.

SILVA, J. S.; LACERDA, A. F.; REZENDE, R. C. **Estruturas para armazenagem de grãos: Cap. 14. Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda fácil, 2008. p. 325-344.

SOBESTIANSKY, J. **Programa de Biossegurança: Sistema intensivo de produção de suínos**. Goiânia: Pfizer, 2002;

STRESSER, R. **Tratamentos Preventivos e Curativos no Controle de Insetos e Pragas em Silos e Armazéns Graneleiros**. Disponível em: <<http://www.tecnigran.com.br>>. Acesso em 05 set. 2017.

SUL ESTRUTURAS. **Armazém graneleiro de fundo V**. Santa Maria, 2015. Disponível em <<http://sulestruturas.com.br/nossos-servicos/armazem-graneleiro-v/4/>>. Acesso em 12 set. 2017.

VIEIRA FILHO, S. G. **Análise das configurações de treliças para as coberturas dos aviários da região de Toledo/PR**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2017.

VIEIRA, G. et al. **Limpeza e desinfecção**. Revista Avisite, Goiás, ed 98, 2015

## Apêndice A – Resultados do cálculo dos carregamentos incidentes na estrutura e verificação de resistência

Considerando-se os procedimentos de cálculo apresentados no item 4.1, seguem os resultados dos carregamentos incidentes na estrutura e a análise da verificação de resistência.

### A.1 RESULTADOS REFERENTES À TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS

**Tabela 9 – Resultados referentes à Treliza de configuração inicial**

Nome	Configuração Inicial	Carregamento		Verificações	Atuante	Limite	Situação	
<b>Treliza</b>	Banzos Paralelos	ELU [kN]		$\delta$ [mm]	54,77	80,00	Ok	
<b>Vão [m]</b>	20,00	Nós laterais	Nós centrais	<b>N</b> Tração [kN]	Banzo	216,44	481,82	Ok
<b>Perfil</b>		-4,53	-9,06		Diagonal	94,42	181,82	Ok
Banzos	U (203,2x57,40)	ELS [kN]			Montante	4,52	181,82	Ok
Diagonais	2L (44,45x4,76)	Nós laterais	Nós centrais	<b>N</b> Compressão [kN]	Banzo	223,13	241,55	Ok
Montantes	2L (44,45x4,76)	-3,11	-6,22		Diagonal	0,00	43,12	Ok
<b>nº nós</b>	11	<b>Peso Próprio [kN]</b>	8,68		Montante	44,41	136,78	Ok

Fonte: Autoria própria (2018).

**Tabela 10 – Resultados referentes à Treliza 2**

Nome	Treliza 2	Carregamento		Verificações	Atuante	Limite	Situação	
<b>Treliza</b>	Banzos Paralelos	ELU [kN]		$\delta$ [mm]	34,96	80,00	Ok	
<b>Vão [m]</b>	20,00	Nós laterais	Nós centrais	<b>N</b> Tração [kN]	Banzo	220,75	492,73	Ok
<b>Perfil</b>		-2,81	-5,62		Diagonal	70,57	181,82	Ok
Banzos	U (203,2x57,40)	ELS [kN]			Montante	2,81	181,82	Ok
Diagonais	2L (44,45x4,76)	Nós laterais	Nós centrais	<b>N</b> Compressão [kN]	Banzo	222,16	373,99	Ok
Montantes	2L (44,45x4,76)	-1,92	-3,84		Diagonal	0,00	81,27	Ok
<b>nº nós</b>	17	<b>Peso Próprio [kN]</b>	9,41		Montante	44,21	136,78	Ok

Fonte: Autoria própria (2018).

**Tabela 11 – Resultados referentes à Treliza 3**

Nome	Treliza 3	Carregamento		Verificações	Atuante	Limite	Situação	
<b>Treliza</b>	Banzos Paralelos	ELU [kN]		$\delta$ [mm]	47,78	80,00	Ok	
<b>Vão [m]</b>	20,00	Nós laterais	Nós centrais	<b>N</b> Tração [kN]	Banzo	224,88	352,27	Ok
<b>Perfil</b>		-2,87	-5,74		Diagonal	71,96	181,82	Ok
Banzos	U (152,4x48,77)	ELS [kN]			Montante	2,87	181,82	Ok
Diagonais	2L (44,45x4,76)	Nós laterais	Nós centrais	<b>N</b> Compressão [kN]	Banzo	225,58	243,49	Ok
Montantes	2L (44,45x4,76)	-1,98	-3,96		Diagonal	0,00	81,27	Ok
<b>nº nós</b>	17	<b>Peso Próprio [kN]</b>	7,50		Montante	44,89	136,78	Ok

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 12 – Resultados referentes à Treliza 4

Nome	Treliza 4	Carregamento		Verificações	Atuante	Limite	Situação	
Treliza	Banzos Paralelos	ELU [kN]		$\delta$ [mm]	54,18	80,00	Ok	
Vão [m]	20,00	Nós laterais	Nós centrais	N <sub>Tração</sub> [kN]	Banzo	225,76	306,52	Ok
Prefil		-2,89	-5,77		Diagonal	72,29	181,82	Ok
Banzos	L (88,9x7,94)	ELS [kN]			Montante	2,89	181,82	Ok
Diagonais	2L (44,45x4,76)	Nós laterais	Nós centrais	N <sub>Compressão</sub> [kN]	Banzo	226,09	233,45	Ok
Montantes	2L (44,45x4,76)	-2,00	-4,00		Diagonal	0,00	81,27	Ok
nº nós	17	Peso Próprio [kN]	6,88		Montante	44,99	136,78	Ok

Fonte: Autoria própria (2018).

## A.2 RESULTADOS REFERENTES À TRELIÇA EM ARCO

Tabela 13 – Resultados referentes à Treliza de configuração inicial

Nome	Configuração Inicial	Carregamento		Verificações	Atuante	Limite	Situação	
Treliza	Arco	ELU [kN]		$\delta$ [mm]	79,88	80,00	Ok	
Vão [m]	20,00	Nós laterais	Nós centrais	N <sub>Tração</sub> [kN]	Banzo	487,21	654,55	Ok
Prefil		-3,11	-6,22		Diagonal	80,60	618,27	Ok
Banzos	U (254,0x66,04)	ELS [kN]			Montante	62,00	618,27	Ok
Diagonais	2L (76,2x9,52)	Nós laterais	Nós centrais	N <sub>Compressão</sub> [kN]	Banzo	493,94	581,78	Ok
Montantes	2L (76,2x9,52)	-2,09	-4,18		Diagonal	105,23	499,30	Ok
nº nós	21	Peso Próprio [kN]	18,43		Montante	71,92	594,57	Ok

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 14 – Resultados referentes à Treliza 2

Nome	Treliza 2	Carregamento		Verificações	Atuante	Limite	Situação	
Treliza	Arco	ELU [kN]		$\delta$ [mm]	78,91	80,00	Ok	
Vão [m]	20,00	Nós laterais	Nós centrais	N <sub>Tração</sub> [kN]	Banzo	501,69	696,48	Ok
Prefil		-2,26	-4,52		Diagonal	82,36	348,25	Ok
Banzos	L (127,0x12,7)	ELS [kN]			Montante	63,04	348,25	Ok
Diagonais	2L (63,5x6,35)	Nós laterais	Nós centrais	N <sub>Compressão</sub> [kN]	Banzo	501,29	669,62	Ok
Montantes	2L (63,5x6,35)	-1,53	-3,06		Diagonal	1,19	290,96	Ok
nº nós	29	Peso Próprio [kN]	16,18		Montante	52,94	308,86	Ok

Fonte: Autoria própria (2018).