

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**FRANCISCO DE OLIVEIRA BORGES JÚNIOR**

**ESTUDO DE ADEQUAÇÃO ESTRUTURAL PARA  
SUSTENTAÇÃO DE PISO NUMA EDIFICAÇÃO EXISTENTE  
PARA ELEVAÇÃO DA SOBRECARGA CONFORME  
NECESSIDADE**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**2018**

**FRANCISCO DE OLIVEIRA BORGES JÚNIOR**

Orientador

**Prof. Hércio Cândido de Queiroz**

**ESTUDO DE ADEQUAÇÃO ESTRUTURAL PARA SUSTENTAÇÃO DE PISO NUMA EDIFICAÇÃO EXISTENTE PARA ELEVAÇÃO DA SOBRECARGA CONFORME NECESSIDADE**

**Trabalho de Conclusão de Curso** apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: **Estruturas Metálicas e Projetos**.

**UBERLÂNDIA - MG**

**2018**

**ESTUDO DE ADEQUAÇÃO ESTRUTURAL PARA SUSTENTAÇÃO DE  
PISO NUMA EDIFICAÇÃO EXISTENTE PARA ELEVAÇÃO DA  
SOBRECARGA CONFORME NECESSIDADE**

Projeto de conclusão de curso **APROVADO** pelo  
Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia  
Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de Uberlândia.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Hércio Cândido de Queiroz  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Msc. Pedro Pio Rosa Nishida  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Dr. Luciano José Arantes  
Universidade Federal de Uberlândia

**UBERLANDIA - MG**

**2018**

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e por me dar forças para terminar esse curso.

Agradeço ao meu pai Francisco e à minha mãe Mariene pelo apoio, palavras de conforto e ajuda durante essa jornada.

Agradeço à minha irmã Andréa por me ajudar nos estudos e por me incentivar a seguir carreira de Engenheiro.

Agradeço à minha namorada Andréa Nishiyama pela motivação, carinho e por estar sempre ao meu lado.

Agradeço ao professor Hércio pela orientação, conselhos durante a execução desse trabalho e pelas lições de vida ensinadas não só nas aulas mas na vida profissional também.

Agradeço aos meus amigos de faculdade pelo auxílio nos estudos, e pelos momentos de descontração proporcionados.

Por último, agradeço aos meus amigos de escola Éverton, Lucas, Rafael, Ricardo, Rodrigo e Vinicius.

Borges. F. de O. J. **ESTUDO DE ADEQUAÇÃO ESTRUTURAL PARA SUSTENTAÇÃO DE PISO NUMA EDIFICAÇÃO EXISTENTE PARA ELEVAÇÃO DA SOBRECARGA CONFORME NECESSIDADE**. 2018. 69p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil

### **Resumo**

Nesse Trabalho, inicialmente será abordado uma introdução aos principais aços utilizados na construção mecânica, também serão apresentados os principais tipos de esforços no qual um membro estrutural pode ser submetido. Também é abordado uma revisão sobre os principais tipos construtivos de galpões e as vantagens e desvantagens dos principais tipos de união entre membros estruturais. A principal motivação desse trabalho é verificar se uma estrutura existente, composta por Tesouras Treliçadas, com fixação dos membros estruturais por parafusos, suportará um aumento na carga aplicada, caso tal estrutura não suportasse o aumento, avaliar a possibilidade de reforçar a estrutura de modo a não paralisar as operações que ocorrem sob a estrutura sendo essa uma exigência da Empresa. A proposta de reforço das Tesouras que compõem a estrutura está apresentada nesse trabalho sendo que tais alterações foram executadas e os resultados obtidos foram satisfatórios.

***PALAVRAS CHAVE:*** Projeto Estrutural, Redimensionamento, Estruturas Metálicas, aço.

Borges. F. de O. J. **STRUCTURAL ADEQUATION STUDY ABOUT SUPPORT FLOOR IN A PRE EXISTENT BUILDING TO ELEVATE OVERLOAD AS NEEDED.** 2015. 69 p. Graduation Final Project, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, Brazil.

### **Abstract**

In this work, we will first discuss an introduction to the main steels used in mechanical construction, the main types of stresses in which a structural member can be submitted will also be presented. Also discussed is a review of the main building types of sheds and the advantages and disadvantages of the main types of joints between structural members. The main motivation of this work is to verify if an existing structure, composed of Trellised Truss, with fixation of the structural members by screws, would support an increase in the applied load, if this structure did not support the increase, to evaluate the possibility of reinforcing the structure in order to not to paralyze the operations that occur under the structure being such a requirement of the Company. The proposed reinforcement of the Truss that make up the structure is presented in this paper and that such changes were performed and the results obtained were satisfactory.

**KEYWORDS:** *Structural Design, Readjustment, Metal Structure, Steel*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Percentual da produção de metais (Fonte: Worldsteel Association, disponível em: <a href="https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html">https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html</a> ) .....	14
Figura 2 - Produção mundial de aço bruto (Fonte: Worldsteel Association, disponível em: <a href="https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html">https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html</a> ) .....	15
Figura 3 - Perfil estrutural "I" (Fonte: <a href="http://www.constructalia.com/repository/transfer/pt/resources/Contenido/00068724Foto_Big.jpg">http://www.constructalia.com/repository/transfer/pt/resources/Contenido/00068724Foto_Big.jpg</a> acessado dia 27/05/2018).....	19
Figura 4 - Representação perfil U (Fonte: AcelorMittal, disponível em: <a href="http://www.constructalia.com/portugues_pt/products/estruturas/perfis_laminados_a_quente/perfil_em_u/u_perfil_europeu">http://www.constructalia.com/portugues_pt/products/estruturas/perfis_laminados_a_quente/perfil_em_u/u_perfil_europeu</a> ) .....	20
Figura 5 - Representação de uma cantoneira (Fonte: Fibrolux, disponível em: <a href="http://fibrolux.com/pt/main/perfis-em-prfv/cantoneira/">http://fibrolux.com/pt/main/perfis-em-prfv/cantoneira/</a> acessado em 27/05/2018).....	20
Figura 6 - Representação de perfil quadrado (Fonte: Incometal, disponível em: <a href="http://www.incometal.com.br/produtos/aluminio-para-industria/tubos-de-aluminio/tubos-quadrados-de-aluminio/">http://www.incometal.com.br/produtos/aluminio-para-industria/tubos-de-aluminio/tubos-quadrados-de-aluminio/</a> acessado 27/05/2018) .....	21
Figura 7 - Representação de perfil estrutural T (Fonte: Amazon aço, disponível em: <a href="http://www.amazon.com.br/produto/4/74">http://www.amazon.com.br/produto/4/74</a> acessado 27/05/2018) .....	21
Figura 8 - Barras chatas (Fonte: Multinox, disponível em: <a href="http://www.mutinox.com.br/produtos_barra_chata.html">http://www.mutinox.com.br/produtos_barra_chata.html</a> acessado em: 27/05/2018).....	22
Figura 9 - Esforço de Tração em membro estrutural (Fonte: <a href="https://sjc.ifsp.edu.br/portal/index.php/webdiario/manual-professor/category/1-material-didatico?download=32:apostila-resistencia-dos-materiais">https://sjc.ifsp.edu.br/portal/index.php/webdiario/manual-professor/category/1-material-didatico?download=32:apostila-resistencia-dos-materiais</a> acessado em 27/05/2018) .....	23
Figura 10– Esquematização dos vetores de força dentro de um corpo submetidos à várias forças externas (Fonte: SHIGLEY, Joseph E., Mischke, C. R. e Budynas, R. G., Projeto de Engenharia Mecânica, Bookman, Porto Alegre, 2005. SHIGLEY, J. E., Elementos de Máquinas, Vol. 2, 3ed. Página 123) .....	23
Figura 11 - Barras sob tração (Fonte: Norton, R. L, Página 152, Figura 4-9).....	24
Figura 12 – Corpo sob Compressão (Fonte: <a href="http://mecatronicaporfrancesco.blogspot.com/p/os-principais-esforcos-mecanicos.html">http://mecatronicaporfrancesco.blogspot.com/p/os-principais-esforcos-mecanicos.html</a> acessado dia 27/05/2018).....	24
Figura 13 - Pino sob esforço de cisalhamento simples à esquerda e um pino sobre cisalhamento duplo à direita (Fonte: Norton, R. L, Página 154, Figura 4-12).....	25
Figura 14 – Falhas de esmagamento e por rasgamento (Fonte: Norton, R. L, Página 155, Figura 4-13) .....	28
Figura 15 – Desenho de um perfil estrutural reto sem carregamento (a), mesmo perfil só que submetido à flexão (Fonte: Norton, R. L, Página 156, Figura 4-15).....	28
Figura 16 - Ilustração de um Perfil U submetido à uma carga de flexão (Fonte: Profa. Daniela Águida Bento, Fundamentos de Resistência dos Materiais Profa. Daniela A. Bento Florianópolis, março de 2003. Página 44).....	29

Figura 17 - Figura 16 – Barra Redonda sem carregamento (a) Ilustração de uma Barra Redonda sofrendo ação de um momento torçor (b) (Fonte: “MECÂNICA DOS MATERIAIS – Ferdinand P. Beer / E. Russel Johnston, Jr / John T. DeWolf / David F. Mazurek – QUINTA EDIÇÃO (5ed) – Editora McGrawHill, Página 156, figura 3-8). .....	30
Figura 18 - A figura ilustra como o comprimento de uma viga influencia a sua resistência à uma mesma carga de compressão F, disponível em: <a href="http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/flambagemdebarras.pdf">http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/flambagemdebarras.pdf</a> .....	31
Figura 19 - Componentes de uma tesoura treliçada (Fonte: Cunha, Treliças de madeira, disponível em: <a href="https://pt.slideshare.net/mackenzista2/trelias-de-madeira-desenhos-e-encaixes">https://pt.slideshare.net/mackenzista2/trelias-de-madeira-desenhos-e-encaixes</a> ). .....	37
Figura 20 - Representação de contraventamentos (Fonte: Molina e Junior, p. 178). .....	38

## Lista De Tabelas

Tabela 1 - Maiores produtores de aço (Fonte: Worldsteel Association, disponível em: <a href="https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html">https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html</a> ) .....	155
Tabela 2 - Aços ASTM para usos estruturais (Fonte: NBR8800:2008).....	177
Tabela 3 - Materiais usados em parafusos e barras redondas rosqueadas (Fonte: NBR8800:2008). .....	188
Tabela 4 – Valores do comprimento de flambagem (Fonte: NBR 8800:2008) .....	33
Tabela 5 – Valores do comprimento de flambagem em treliças (Fonte: NBR 8800:2008) .....	33
Tabela 6 – Coeficientes de Segurança normalmente utilizados em projetos (Fonte: Norton, Robert L, 2013). .....	37
Tabela 7 – Tabela com os dados iniciais para cálculo .....	52
Tabela 8 – Tabela com os dados dos perfis .....	52
Tabela 9 – Tabela com os valores carga máxima nos membros estruturais .....	55
Tabela 10 – Tabela com Cálculos das solicitações nas placas .....	56
Tabela 11 – Tabela com Cálculos das solicitações nas Cobrejuntas .....	57
Tabela 12 – Tabela com os cálculos das solicitações nas placas após alteração .....	58

## Sumário

1	Introdução.....	12
2	Objetivo.....	13
3	Revisão Bibliográfica.....	14
3.1	O Aço carbono.....	14
3.2	Utilização do Aço na construção de estruturas.....	15
3.3	Vantagens e Desvantagens do Aço.....	16
3.4	Tipos de aço comumente utilizados em estruturas metálicas.....	17
3.5	Principais perfis utilizados em estruturas metálicas.....	19
3.5.1	Perfil “I”.....	19
3.5.2	Perfil “U”.....	20
3.5.3	Perfil “L” ou Cantoneira.....	20
3.5.4	Perfil Quadrado ou Retangular “Metalon”.....	21
3.5.5	Perfil “T”.....	21
3.5.6	Barra Chata.....	22
3.6	Solicitações Estruturais.....	22
3.6.1	O que é Tensão.....	22
3.6.2	Tração.....	24
3.6.3	Compressão.....	24
3.6.4	Cisalhamento.....	25
3.6.5	Flexão.....	28
3.6.6	Torção.....	29
3.6.7	Flambagem.....	31
3.7	Tensão Admissível e Coeficiente de Segurança.....	35
3.8	Nomenclatura dos principais componentes de uma tesoura.....	37
3.8.1	Banzo.....	37
3.8.2	Diagonal.....	37
3.8.3	Montante.....	38
3.9	Nomenclatura estrutural.....	38
3.9.1	Terças.....	38
3.9.2	Contraventamento.....	38

3.9.3	Pendural .....	39
3.10	Tipos de Fixação .....	39
3.10.1	Vantagens e Desvantagens da Fixação por Solda .....	39
3.10.2	Vantagens e Desvantagens da Fixação por Parafusos .....	40
3.10.3	Vantagens e Desvantagens da Fixação por Rebites.....	40
4	Verificação dos Esforços.....	41
4.1	Organização da Análise .....	44
4.2	Análise do valor de carga equivalente. ....	44
4.3	Análise das Barras .....	44
4.4	Análise da resistência das chapas e parafusos dos principais elementos estruturais .	51
4.5	Análise da resistência das cobrejuntas e parafusos dos principais elementos estruturais.....	53
4.6	Alterações Estruturais .....	55
5	Conclusão .....	58
6	Referências Bibliográficas .....	59
7	ANEXOS.....	60
7.1	ANEXO A – CÓDIGO PARA CALCULO DA CARGA EM FUNÇÃO DE “P” .....	60
7.2	ANEXO B – TABELA DE CANTONEIRAS COM ABAS IGUAIS .....	67
7.3	ANEXO C – TABELA DE CANTONEIRAS COM ABAS DESIGUAIS .....	68
7.4	ANEXO D – DISPOSIÇÃO DAS TESOURAS .....	69
7.5	ANEXO E – LAYOUT ESQUEMÁTICO DAS TESOURAS ANALISADAS.....	70

## 1 Introdução

A Souza Cruz LTDA, no ano de 1998 tinha a necessidade de ampliar a capacidade de carga do Galpão que serve como Expedição dos produtos acabados da empresa. Era necessário aumentar a carga suportada pela estrutura devido ao planejamento de aumentar a capacidade produtiva na unidade de Uberlândia utilizando a mesma estrutura civil, além de implantar um sistema automatizado de armazenamento de produtos

De início a empresa procurou o professor Hércio Candido Queiroz para fazer o estudo da capacidade de carga das treliças que compõem o galpão e com isso avaliar a viabilidade de aumentar a capacidade de carga na estrutura e caso fosse possível realizar as alterações estruturais.

Outro fator importante a salientar é que as alterações estruturais teriam que ser feitas com as operações na expedição funcionando pois a empresa não queria a paralisação da atividades por conta dessa adequação estrutural evitando assim prejuízo por lucros cessantes, sendo que se a Expedição não funciona, a Fábrica inteira teria que parar.

As treliças são o objeto desse estudo e são responsáveis por suportar um piso de destinação do produto acabado além de suportar o sistema automatizado de armazenamento. Essas treliças são construídas em aço carbono galvanizado e a união dos membros estruturais se dá por uniões parafusadas.

A Estrutura da Expedição cobre uma área de 1312,5 m<sup>2</sup> (25 x 52,50) sendo composta por 13 tesuras espaçadas em 4,375 metros atendendo as normas abaixo:

- NBR-8800/2008 - Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios;
- NBR-6120/80 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações.
- NP EN 10346:2015 – Galvanização por imersão em Zinco quente de produtos planos de aço para conformação a frio;

## **2 Objetivo**

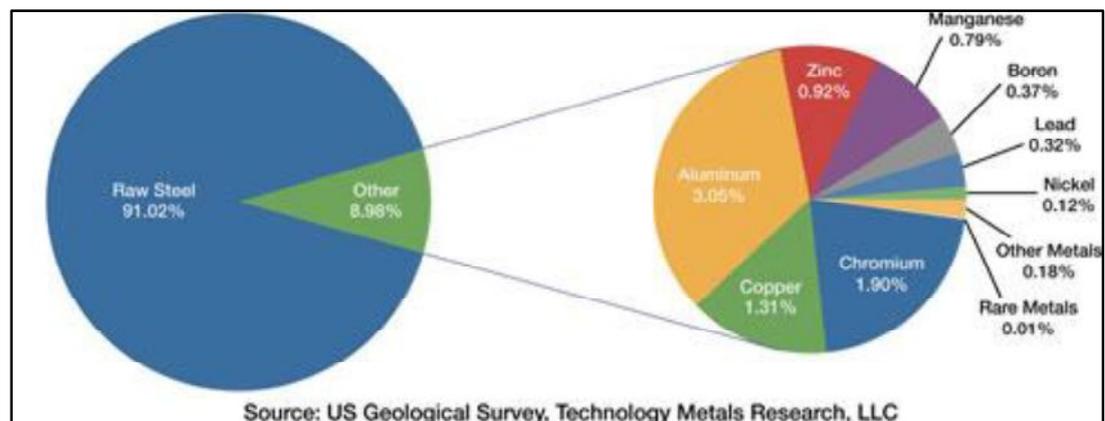
A finalidade desse projeto consiste na readequação estrutural das tesouras que fazem parte da área de expedição da empresa Souza Cruz S. A., localizada no Distrito Industrial da cidade de Uberlândia – MG. Avaliando a adequação estrutural devido à um aumento de sobrecarga na tesoura de modo a aumentar e melhorar a capacidade de produção, armazenamento de carregamento de produtos na expedição.

### 3 Revisão Bibliográfica

#### 3.1 O Aço carbono

O aço carbono é um material amplamente disponível, estando presente em vários segmentos da indústria e em equipamentos no nosso dia-a-dia como no carro, na maçaneta da porta, na fundação de uma casa, no portão entre outros lugares. Sendo comercializado como matéria-prima de várias formas.

No ano de 2016, o mundo produziu 1,62 Trilhão de toneladas de aço bruto segundo a Worldsteel Association que representa os produtores de aço de 66 países sendo a China o maior produtor. Segundo dados do ano de 2010 o aço é o metal mais produzido no mundo representando 91,02 % da produção mundial (incluindo todas as ligas), sendo o Alumínio o segundo metal mais produzido no mundo.



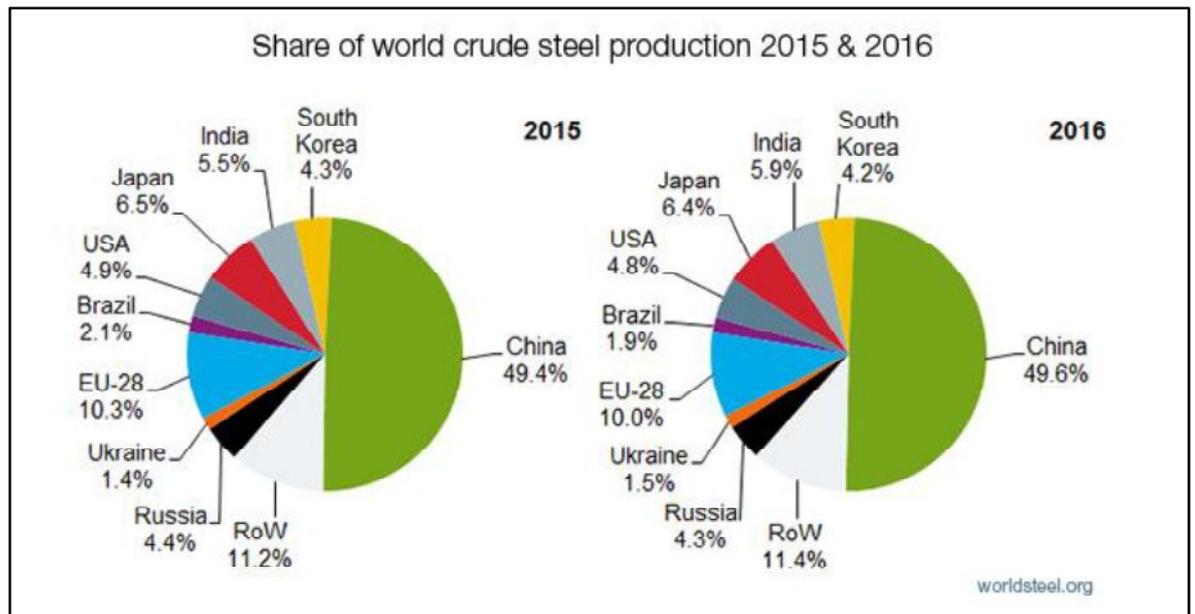
**Figura 1 Percentual da produção de metais (Fonte: Worldsteel Association, disponível em: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html>)**

O Brasil é um dos maiores produtores de aço do mundo, ocupa a nona posição sendo a China responsável por praticamente metade da produção mundial o que significa uma produção de 808,4 milhões de toneladas.

**Tabela 1 - Maiores produtores de aço (Fonte: Worldsteel Association, disponível em: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html>)**

Top 10 steel-producing countries				
Rank	Country	2016 (Mt)	2015 (Mt)	%2016/2015
1	China	808.4	798.8	1.2
2	Japan	104.8	105.1	-0.3
3	India	95.6	89.0	7.4
4	United States	78.6	78.8	-0.3
5	Russia	70.8	70.9	-0.1
6	South Korea	68.6	69.7	-1.6
7	Germany	42.1	42.7	-1.4
8	Turkey	33.2	31.5	5.2
9	Brazil	30.2	33.3	-9.2
10	Ukraine	24.2	23.0	5.5

Source: worldsteel



**Figura 2 - Produção mundial de aço bruto (Fonte: Worldsteel Association, disponível em: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/world-crude-steel-output-increases-by-0.8--in-2016.html>).**

### 3.2 Utilização do Aço na construção de estruturas

Existem em torno de 3000 ligas de aço variando a composição das mesmas para diferentes tipos de aplicação, como trabalho a quente, trabalho a frio, ligas de livre corte, ligas resistentes à corrosão entre outras. Para este trabalho o foco são os aço utilizados na construção mecânica de baixo teor de carbono.

Na construção mecânica o aço pode ser usado principalmente de quatro formas:

- Na forma de edificação, onde a estrutura base é montada com componentes de aço;
- Na forma de armadura para compor a estrutura de concreto armado.
- Em forma de Elementos de Máquinas como engrenagens, eixos, rolamentos etc.
- Como elementos de fixação como parafusos, pinos, cupilhas etc.

### **3.3 Vantagens e Desvantagens do Aço**

O aço apresenta as seguintes vantagens em sua aplicação, considerando a sua vasta função e utilização em estruturas metálicas:

- Alta resistência dos elementos metálicos;
- Alta confiabilidade pois trata-se de material único e homogêneo com limites de escoamento e ruptura bem definidos;
- Alta resistência à corrosão;
- Possibilidade de fabricação de peças de pequenas dimensões;
- Facilidade de transporte e montagem;
- Alta resistência a esforços de tração, compressão e cisalhamento;
- Excelente capacidade de vencer pequenos vãos.
- Ampla variedade de ligas atendendo a diversas aplicações
- Facilidade e diversificação de processos de fabricação como usinagem e soldagem visto ser amplamente usado em vários segmentos.

Apesar de sua vasta aplicação, o aço apresenta as seguintes desvantagens:

- Limitação de fabricação em função do transporte até o local da montagem final, possíveis falhas causadas durante o transporte;
- Ataques químicos ao aço;
- Necessidade de tratamento superficial das peças estruturais contra oxidação devido ao contato com o ar, sendo que esse ponto tem sido minorado através da utilização de ligas de alta resistência à corrosão atmosférica, cuja capacidade está na ordem de quatro vezes superior as ligas de aço carbono convencionais;

- Necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados para a fabricação e montagem;
- Detalhes estruturais podem representar falhas;
- Limitação, em algumas ocasiões, na disponibilidade de perfis estruturais, sendo sempre aconselhável antes do início de projetos estruturais, verificar junto ao mercado fornecedor, os perfis que possam estar em falta nesse mercado.

### 3.4 Tipos de aço comumente utilizados em estruturas metálicas

Segundo a NBR 8800:2008 temos os principais aços utilizados em estruturas metálicas, como são normatizados, são facilmente encontrados no comércio de materiais metálicos e amplamente produzidos pelas aciarias. O aço ASTM A36 é o mais comum em estruturas metálicas devido ao baixo custo.

**Tabela 2 - Aços ASTM para usos estruturais (Fonte: NBR8800:2008).**

Classificação	Denominação	Produto	Grupo / grau	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	
Aços - carbono	A36	Perfis	Todos os grupos	250	400	
		Chapas	$t \leq 200$ mm		a	
		Barras	$t \leq 100$ mm		550	
	A570	Chapas	Todos os grupos	Grau 40	280	380
				Grau 45	310	410
Aço de baixa liga e alta resistência mecânica	A441	Perfis	Grupos 1 e 2	345	485	
			Grupo 3	315	460	
		Chapas e Barras	$t \leq 19$	345	485	
			$19 < t \leq 38$	315	460	
			$38 < t \leq 100$	290	435	
			$100 < t \leq 200$	275	415	
	A572	Perfis	Todos os grupos	Grau 42	290	415
				Grau 50	345	450
		Chapas e barras	Grau 42 ( $t \leq 150$ )	290	415	
			Grau 50 ( $t \leq 50$ )	345	450	
	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A242	Perfis	Grupos 1 e 2	345	480
Grupo 3				315	460	
Chapas e			$t \leq 19$	345	480	
			$19 < t \leq 38$	315	460	

		Barras	$38 < t \leq 100$	290	435
	A588	Perfis	Todos os grupos	345	485
		Chapas e	$t \leq 100$	345	485
			$100 < t \leq 127$	315	460
		Barras	$127 < t \leq 200$	290	435

NOTAS:

a) Grupamento de perfis estruturais para efeito de propriedades mecânicas:

a.1) Perfis I de abas inclinadas, perfis U e cantoneiras com espessura menor ou igual a 19 mm - GRUPOS 1 e 2;

a.2) Cantoneiras com espessura maior que 19 mm - GRUPO 3;

b) Para efeito das propriedades mecânicas de barras, a espessura t corresponde à menor dimensão da seção transversal da barra.

**Tabela 3 - Materiais usados em parafusos e barras redondas rosqueadas (Fonte: NBR8800:2008).**

Especificação		Resistência ao escoamento (MPa)	Resistência à ruptura - $f_{up}$ (MPa)	Diâmetro máximo (mm)	Tipo de material <sup>(B)</sup>
Parafusos	ASTM A307	-	415	100	C
	ISO 898 Classe 4.6	235	390	36	C
	ASTM A325 <sup>(A)</sup>	635 560	825 725	$12,7 \leq d \leq 25,4$ $25,4 < d \leq 38,1$	C,T
	ASTM A490	895	1035	$12,7 \leq d \leq 38,1$	T
Barras rosqueadas	ASTM A36	250	400	100	C
	ASTM A588	345	485	100	ARBL RC

NOTAS:

(A) Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR-COR-345 Graus A e B ou à dos aços ASTM A588.

(B) C = carbono; T = temperado.

ARBL RC = alta resistência e baixa liga, resistente à corrosão.

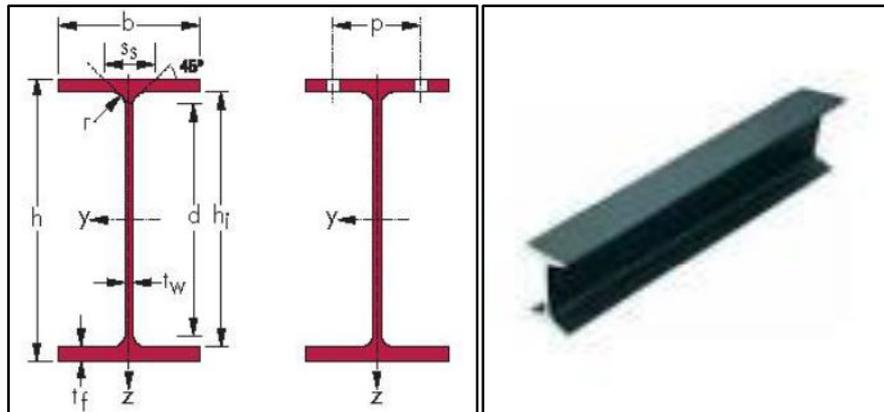
### 3.5 Principais perfis utilizados em estruturas metálicas

Na construção de estruturas metálicas é importante conhecer os principais tipos de perfis para escolher da melhor forma o mais adequado para suportar a solicitação. Existem diversos perfis com variações nas características geométricas resultando em aplicações diferentes.

#### 3.5.1 Perfil "I"

Perfil amplamente utilizado em estruturas metálicas usado principalmente como viga devido à relação Momento de Inércia por área, as vezes usado como coluna. Principalmente usado quando a solicitação por flexão é elevada.

Pode ser encontrado em perfis laminados nos padrões Americano ou Europeu, sendo o padrão Americano popularmente conhecido como Primeira Alma. Também podem ser encontrados pela união soldável de barra de metal afim de gerar a geometria característica do perfil I, sendo os padrões CVS, CS, VS, VE, CE, VEE, conhecidos popularmente como "Segunda Alma".



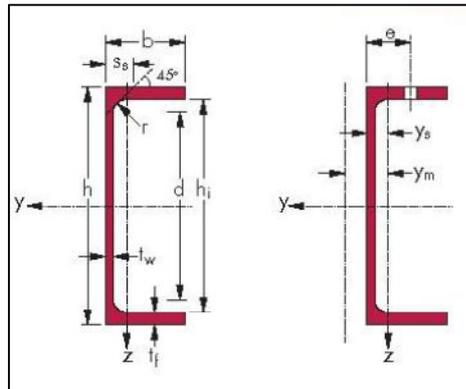
**Figura 3 - Perfil estrutural "I" (Fonte:**

**[http://www.constructalia.com/repository/transfer/pt/resources/Contenido/00068724Foto\\_Big.jpg](http://www.constructalia.com/repository/transfer/pt/resources/Contenido/00068724Foto_Big.jpg) acessado dia 27/05/2018).**

### 3.5.2 Perfil “U”

Esse tipo é normalmente utilizado como terças, Abas laterais de escadas industriais seguindo o padrão da NR-12 e acabamento de construções ou equipamentos Industriais. É adequado a essas aplicações pois não requerem elevada resistência a flexão.

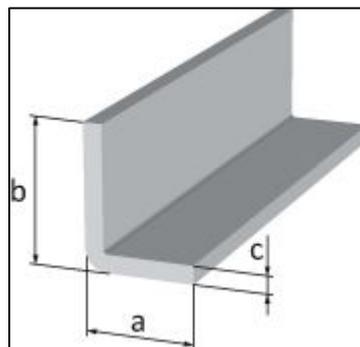
Podem ser laminados com tamanhos padronizados ou feitos de chapa de dobrada em várias medidas conforme necessidade. Em alguns casos, como por exemplo em pontes rolantes, são utilizados para reforçar a viga (normalmente reforçam um Perfil “I”).



**Figura 4 - Representação perfil U (Fonte: AcelorMittal, disponível em: [http://www.constructalia.com/portugues\\_pt/products/estruturas/perfis\\_laminados\\_a\\_quente/perfil\\_em\\_u/u\\_perfil\\_europeu](http://www.constructalia.com/portugues_pt/products/estruturas/perfis_laminados_a_quente/perfil_em_u/u_perfil_europeu)).**

### 3.5.3 Perfil “L” ou Cantoneira

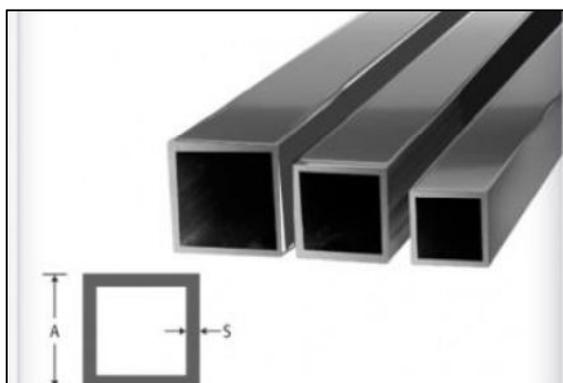
Perfil utilizado normalmente quando se requer baixo peso e relativa resistência estrutural, sendo fabricada por processos de laminação também utilizada como acabamentos em muitas aplicações. Costumam ser utilizados como reforço estrutural em perfis “I” e “U” de modo a aumentar a rigidez sem aumentar a altura do conjunto utilizado como viga.



**Figura 5 - Representação de uma cantoneira (Fonte: Fibrolux, disponível em: <http://fibrolux.com/pt/main/perfis-em-prfv/cantoneira/> acessado em 27/05/2018).**

### 3.5.4 Perfil Quadrado ou Retangular “Metalon”

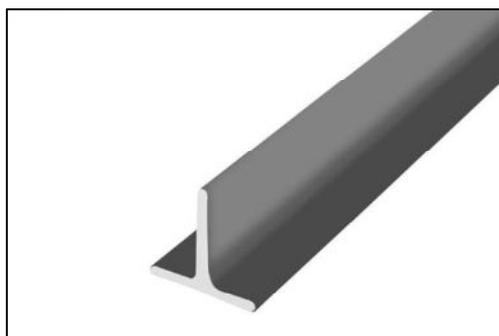
O metalon pode ser nos formato Retangular ou Quadrado, normalmente é laminado seguindo tabelas de fabricantes. Assim como o perfil “U” de chapa dobrada o metalon pode ser obtido pela união de dois perfis U de chapa dobrada. Sua principal utilização está na construção de portas, portões e mesas.



**Figura 6 - Representação de perfil quadrado (Fonte: Incometal, disponível em: <http://www.incometal.com.br/produtos/aluminio-para-industria/tubos-de-aluminio/tubos-quadrados-de-aluminio/> acessado 27/05/2018).**

### 3.5.5 Perfil “T”

Esse tipo de perfil é encontrado laminado, costuma ser usado na fixação de tubos em “Pipe Racks” (Porta tubos traduzindo do Inglês), fixação ou travamento de estruturas de elevadores, correias transportadoras, ensacadoras e outros equipamentos industriais.



**Figura 7 - Representação de perfil estrutural T (Fonte: Amazon aço, disponível em: <http://www.amazonaco.com.br/produto/4/74> acessado 27/05/2018).**

### 3.5.6 Barra Chata

Encontrada normalmente Laminada, sendo que pode ser obtida a partir do corte de chapas. Utilizada amplamente para acabamento de estruturas, como rodapé de guarda corpos conforme prevê a Norma Regulamentadora NR-12, pelo preço, costuma ser usado até mesmo como pás de agitadores mecânicos.



**Figura 8 - Barras chatas (Fonte: Multinox, disponível em: [http://www.mutinox.com.br/produtos\\_barra\\_chata.html](http://www.mutinox.com.br/produtos_barra_chata.html) acessado em: 27/05/2018).**

## 3.6 Solicitações Estruturais

### 3.6.1 O que é Tensão

É uma grandeza vetorial que foi introduzida na resistência dos materiais em 1822, por Augustin Louis Cauchy. É definida como sendo a resistência interna de um corpo qualquer, à aplicação de uma força externa por unidade de área, ou seja, é a força por unidade de área.

É análoga ao fenômeno elementar Pressão que ocorre nos fluidos, utilizando inclusive a mesma unidade, considerando não apenas forças perpendiculares ao plano ou seção considerada mas também forças oblíquas e tangenciais a esse plano ou seção, que o sólido é capaz de suportar.

Uma ou várias forças podem ser aplicadas em um corpo de várias maneiras, gerando assim solicitações como a tração, compressão, cisalhamento, flexão, torção e flambagem.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde,

$\sigma$  - Tensão Normal uniforme.

F – Força Aplicada ao corpo.

A – Área da seção transversal do corpo.

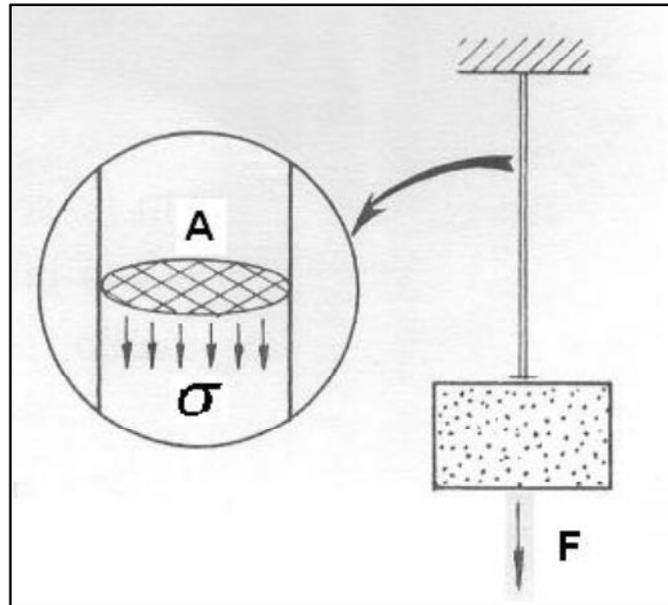


Figura 9 - Esforço de Tração em membro estrutural (Fonte: <https://sjc.ifsp.edu.br/portal/index.php/webdiario/manual-professor/category/1-material-didatico?download=32:apostila-resistencia-dos-materiais> acessado em 27/05/2018).

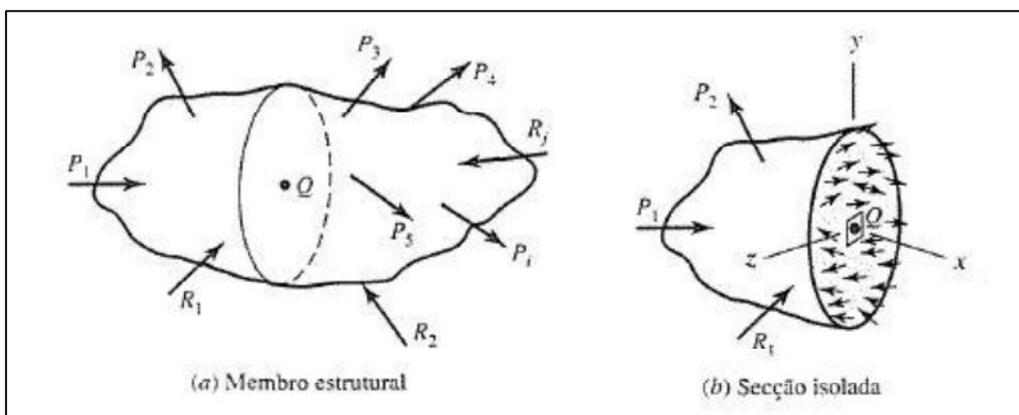
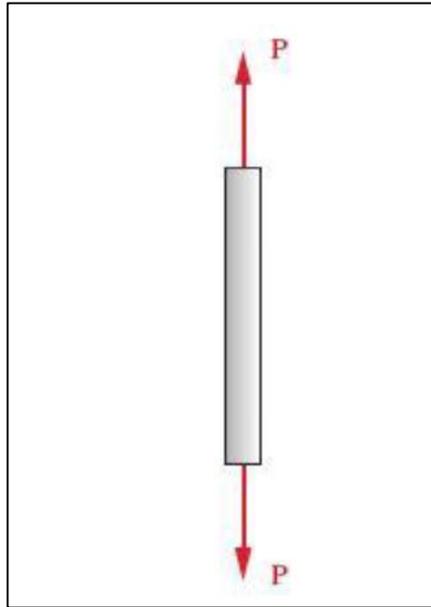


Figura 10– Esquematização dos vetores de força dentro de um corpo submetidos à várias forças externas (Fonte: SHIGLEY, Joseph E., Mischke, C. R. e Budynas, R. G., Projeto de Engenharia Mecânica, Bookman, Porto Alegre, 2005. SHIGLEY, J. E., Elementos de Máquinas, Vol. 2, 3ed. Página 123).

### 3.6.2 Tração

A tração pode ser entendida como uma sollicitação que ao ser aplicada faz o corpo alongar-se no sentido da força aplicada.

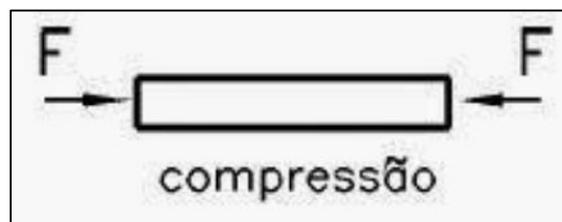


**Figura 11 - Barras sob tração (Fonte: Norton, R. L, Página 152, Figura 4-9)**

### 3.6.3 Compressão

A compressão pode ser entendida como uma sollicitação que tende a encurtar a peça no sentido da força aplicada.

Pode ser matematicamente calculada a partir da equação (1) onde é a relação entre a força aplicada com a área da seção transversal do corpo. Sendo que tem sentido oposto à tração.



**Figura 12 – Corpo sob Compressão (Fonte: <http://mecatronicaporfrancesco.blogspot.com/p/os-principais-esforcos-mecanicos.html> acessado dia 27/05/2018).**

### 3.6.4 Cisalhamento

O cisalhamento é uma sollicitação que tende a deslocar paralelamente porém em sentidos opostos duas ou mais seções de um peça. Pode ser dividida em cisalhamento simples ou composto.

O cisalhamento simples é quando forças em sentidos opostos e cisalham o corpo em apenas uma seção transversal, sendo o cisalhamento composto quando existem duas ou mais áreas cisalhadas.

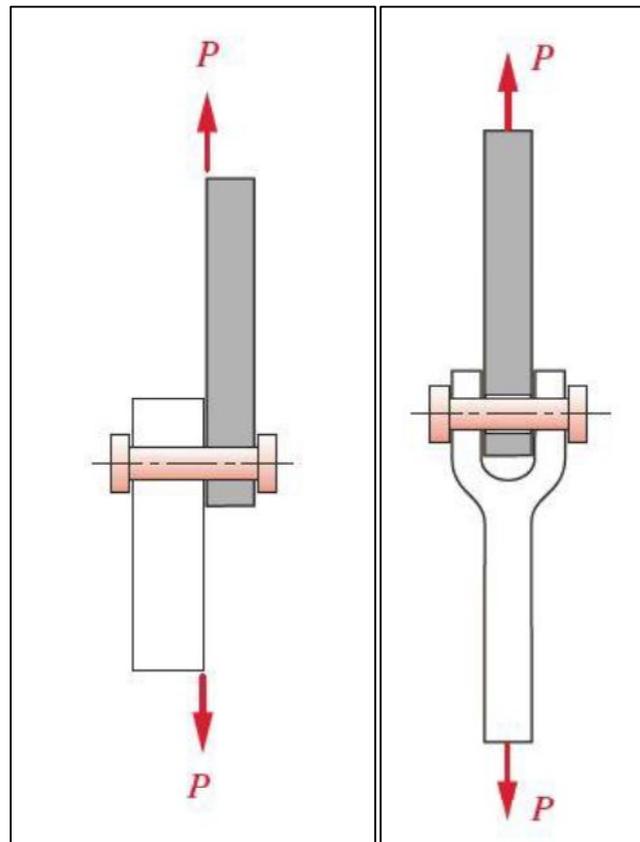
$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Onde temos,

$\tau$  - Tensão de Cisalhamento.

F – Força Aplicada ao corpo.

A – Área da seção transversal do corpo.



**Figura 13 - Pino sob esforço de cisalhamento simples à esquerda e um pino sobre cisalhamento duplo à direita (Fonte: Norton, R. L, Página 154, Figura 4-12).**

A situação representada na Figura 13 à esquerda é chamada de cisalhamento simples, pois uma única área da seção transversal da peça precisa ser cisalhada para rompê-la. Já a figura à direita mostra um pino de articulação sob cisalhamento duplo. Duas áreas devem ser cisalhadas antes da separação. A peça é chamada de pino de forquilha, onde a barra em forma de “Y” é a forquilha. A

Área “A” a ser usada na Equação (2) agora é “2A”, ou seja temos o dobro da área a ser cisalhada e conseqüentemente a tensão cairá pela metade. O cisalhamento duplo é preferido ao cisalhamento simples para projetos de pinos de articulação pela menor tensão de cisalhamento quando comparamos ao cisalhamento simples.

Articulações em cisalhamento simples devem ser usadas somente onde for impossível apoiar ambas as extremidades do pino, como em junções parafusadas ou rebitadas que estão sob cisalhamento simples quando apenas duas peças chatas são conectadas uma à outra. (Norton, Robert L, 2013).

$$\tau = \frac{F}{2 \times A} \quad (3)$$

Em (3) temos a fórmula para o Cisalhamento duplo citado acima onde o valor da área é dobrado pois têm-se duas áreas cisalhadas. Com isso, caso o elemento estrutural seja cisalhado em  $na$  áreas, sendo  $na$  um número natural maior que zero temos a seguinte fórmula:

$$\tau = \frac{F}{na \times A} \quad (4)$$

Onde temos,

$\tau$  - Tensão de Cisalhamento.

F – Força Aplicada ao corpo.

A – Área da seção transversal do corpo.

$na$  – Número de áreas Cisalhadas.

### **Falha por Esmagamento**

Um pino de articulação em um furo, como representado na Figura 12, pode falhar de outros modos além de cisalhamento puro. As superfícies cilíndricas laterais do pino e do furo em contato estão sujeitas a tensões de esmagamento. Essas tensões tendem a esmagar o furo ou pino em vez de cortá-lo. A tensão de esmagamento é normal e de compressão, e pode ser calculada pela Equação (1) (Norton, Robert L, 2013).

A partir da equação (1) temos:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Sendo que a Área de Esmagamento é calculada como:

$$A_{esm} = lf \times h \quad (6)$$

Onde,

$A_{esm}$  – Área de Esmagamento (cm<sup>2</sup>)

lf- Largura do furo (cm)

hf – Espessura do furo (cm)

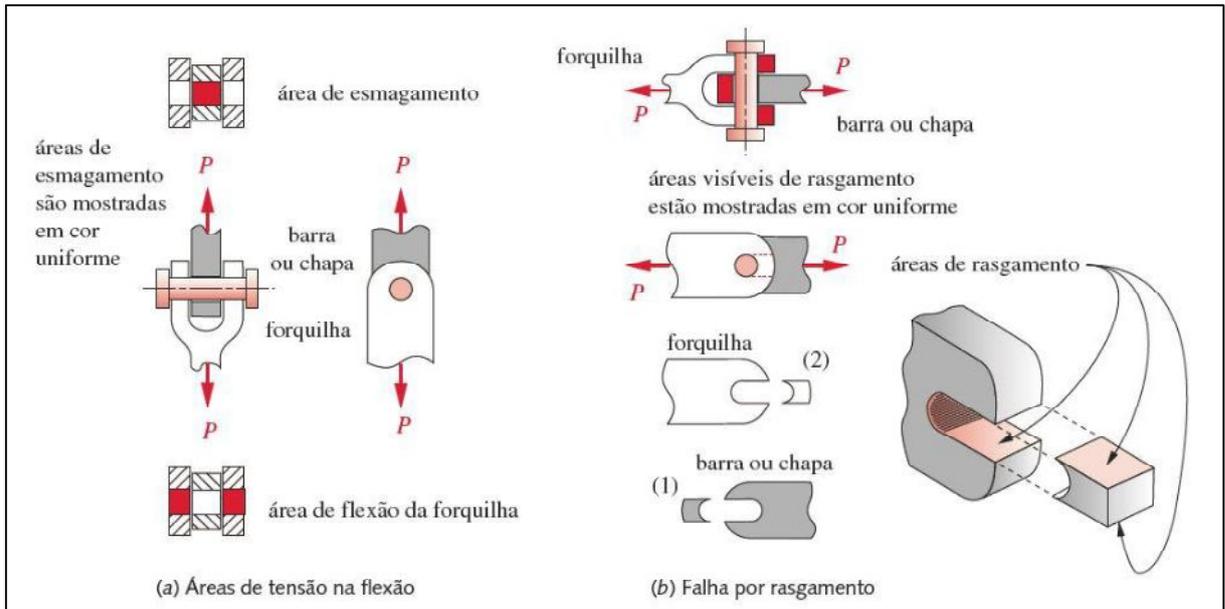
Reescrevendo a Equação (1) temos:

$$\sigma_{esm} = \frac{F}{A_{esm}} \quad (7)$$

### **Falha por Rasgamento**

Um outro modo possível de falha para junções por pinos ou junções onde os membros sofrem cisalhamento é a ruptura por rasgamento do material em torno do furo. Isso ocorre se o furo estiver localizado muito perto da aresta. É uma falha por cisalhamento duplo, pois requer que haja deslizamento em ambos os lados do furo para que uma parte do material se separe do restante. A Equação 2 é aplicável neste caso, contanto que a área correta de cisalhamento seja utilizada. A Figura 13b mostra áreas de ruptura para a junção por pino tipo forquilha da Figura 12 à direita.

Parece que a área poderia ser calculada como produto da espessura da barra ou chapa e a distância entre o centro do furo e a aresta externa da chapa, multiplicada por dois para considerar ambos os lado do furo. No entanto, essa suposição implica que cunhas muito finas do material interior ao diâmetro do furo aumentam significativamente a resistência ao cisalhamento. Uma suposição mais comum e conservadora para a área de rasgamento é usar o dobro do produto da espessura da chapa pela dimensão entre a borda do furo até a aresta externa da chapa. É simples prover material suficiente, em torno dos furos, para prevenir falhas por rasgamento. Um mínimo de material entre a borda do furo e a aresta externa da peça é um diâmetro do pino e serve como ponto de partida razoável para seus cálculos de projeto (Norton, Robert L, 2013).

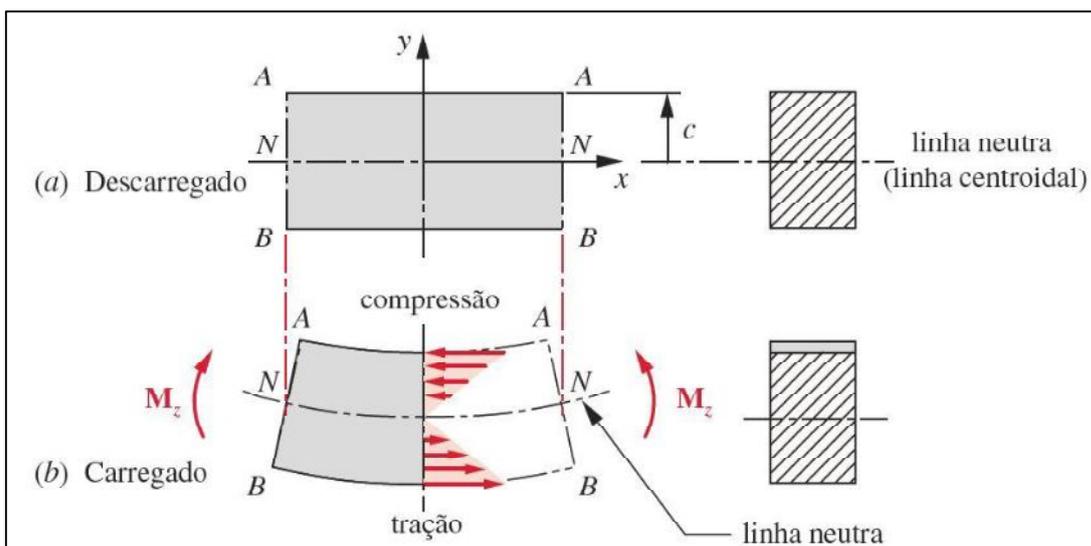


**Figura 14 – Falhas de esmagamento e por rasgamento (Fonte: Norton, R. L, Página 155, Figura 4-13).**

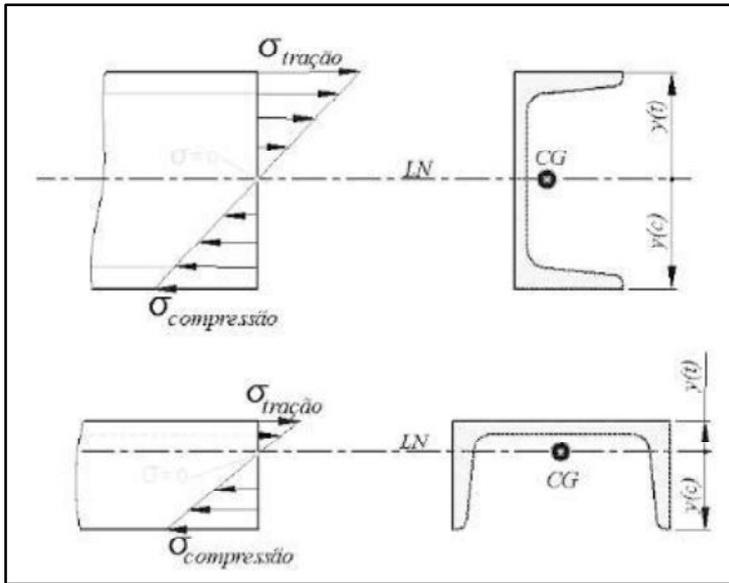
### 3.6.5 Flexão

A flexão em barras é caracterizada pelos efeitos dos momentos fletores nas mesmas, sendo necessário analisar as tensões envolvidas, as deformações e deslocamentos.

Quando um corpo está sofrendo a ação de um momento fletor, a parte oposta ao sentido do momento fletor sofre tensão de tração e a parte que está no sentido do momento fletor sofre compressão, no corpo em análise podemos perceber a existência de uma linha neutra que não sofre tração nem compressão, ou seja, não sofre solicitação nenhuma.



**Figura 15 – Desenho de um perfil estrutural reto sem carregamento (a), mesmo perfil só que submetido à flexão (Fonte: Norton, R. L, Página 156, Figura 4-15).**



**Figura 16 - Ilustração de um Perfil U submetido à uma carga de flexão (Fonte: Profa. Daniela Águida Bento, Fundamentos de Resistência dos Materiais Profa. Daniela A. Bento Florianópolis, março de 2003. Página 44).**

Tendo como base o sistema de eixos da Figuras 15 a tensão devido à flexão de uma viga pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \quad (8)$$

$\sigma$  = Tensão devido ao Momento Fletor (kgf/cm<sup>2</sup>)

$M$  = Momento Fletor (kgf .cm)

$y$  = Distância máxima até a linha Neutra (cm), sendo  $y(t)$  a distância para o esforço de tração e  $y(c)$  a distância do esforço de compressão.

$I$  = Momento de Inércia (cm<sup>4</sup>)

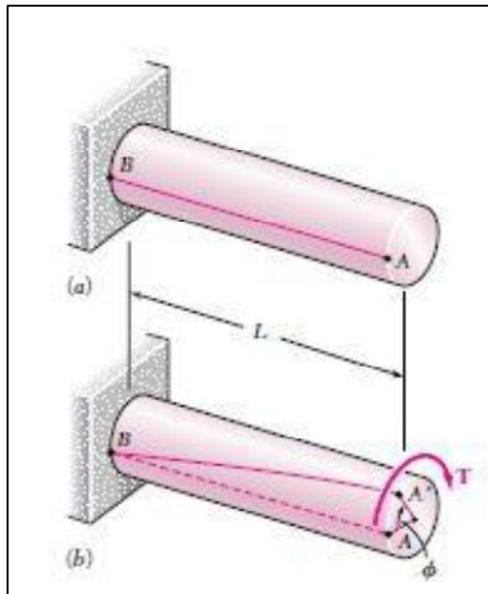
Se a tensão calculada é positiva ou negativa depende da escolha do sentido, normalmente adota-se como negativo o sentido da compressão e como positivo o sentido da tração.

### 3.6.6 Torção

Torção ocorre quando um corpo, normalmente sendo um eixo ou um perfil estrutural sofre ação de um momento torçor sobre seu eixo longitudinal fazendo com que exista uma deformação angular no corpo e conseqüentemente exista uma tensão no mesmo.

Um corpo ao sofrer ação de um momento torçor, aparecem tensões tangenciais paralelas à seção transversal. Se estas são representadas por um campo vetorial suas linhas de fluxo circulam ao redor da seção transversal.

Quando as tensões anteriores não estão distribuídas adequadamente, coisa que sucede sempre a menos que a seção tenha simetria circular, aparecem deformações seccionais que fazem com que as seções transversais deformadas não sejam planas (Norton, Robert L, 2013).



**Figura 17 - Figura 16 – Barra Redonda sem carregamento (a) Ilustração de uma Barra Redonda sofrendo ação de um momento torçor (b) (Fonte: “MECÂNICA DOS MATERIAIS – Ferdinand P. Beer / E. Russel Johnston, Jr / John T. DeWolf / David F. Mazurek – QUINTA EDIÇÃO (5ed) – Editora McGrawHill, Página 156, figura 3-8).**

Com base na Figura 16 acima, quando um corpo sofre ação de um momento torçor, o corpo sofre cisalhamento na seção transversal, sendo essa tensão de cisalhamento maior quanto maior for a distância do centro do momento torçor, ou seja, na “periferia” do corpo.

Matematicamente podemos estimar a tensão de cisalhamento de um corpo submetido à ação de um momento torçor com a seguinte fórmula:

$$\tau = \frac{T \cdot r}{I_p} \quad (10)$$

$$I_p = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \quad (11)$$

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (12)$$

Onde no caso de seções circulares:

$\tau$  = Tensão de Cisalhamento devido ao momento Torçor (kgf/cm<sup>2</sup>)

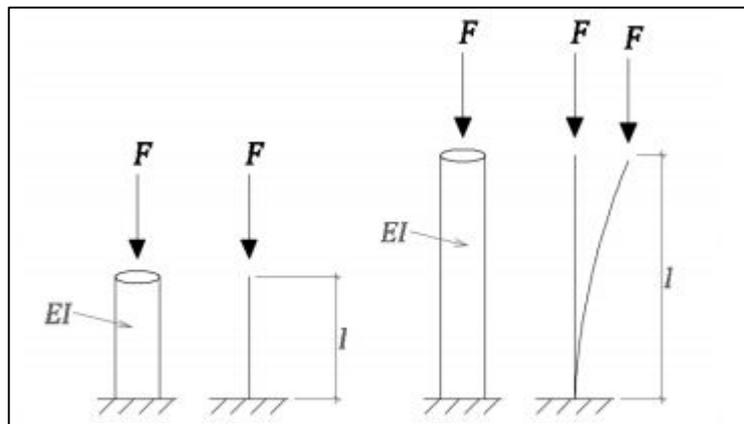
$r$  = distância do centro (cm)

$d$  = diâmetro do eixo (cm)

$I_p$  = Momento Polar de Inércia (cm<sup>4</sup>)

### 3.6.7 Flambagem

A flambagem ocorre em peças esbeltas, onde a seção transversal é muito menor que o comprimento do corpo. Quando o corpo sofre um esforço de compressão no sentido do comprimento a peça falha num valor abaixo da tensão de escoamento. Como ocorre abaixo do limite de escoamento é considerada uma instabilidade elástica, o colapso da estrutura sempre ocorre na direção do eixo com menor momento de inércia.



**Figura 18 - A figura ilustra como o comprimento de uma viga influencia a sua resistência à uma mesma carga de compressão  $F$ , disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/flambagemdebarras.pdf>**

Como já apresentado, os sistemas de estruturas mecânicas podem falhar de várias formas dependendo da natureza do esforço, apoios, forma construtiva, entre outras formas. Ao se projetar uma estrutura é necessário que atenda os critérios específicos de tensão, deflexão e estabilidade.

#### Cálculo da Carga Crítica ( $P_{cr}$ )

A carga crítica é o valor máximo que o elemento estrutural esbelto pode sofrer antes de ocorrer flambagem, qualquer acréscimo provocará a falha do elemento. A partir do cálculo da carga crítica, podemos calcular o valor da tensão crítica conforme fórmulas abaixo.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{Le^2} \quad (13)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 * E * I}{A * Le^2} \quad (14)$$

Como,

$$i^2 = \frac{I}{A} \quad (15)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (10)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 * E * i^2}{Le^2} \quad (16)$$

$$\lambda = \frac{Le}{i} \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{Le}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \quad (18)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2} \quad (19)$$

P<sub>cr</sub>= Carga Crítica de Flambagem (kgf)

σ<sub>cr</sub> = Tensão Crítica de Flambagem (kgf/cm<sup>2</sup>)

E = Módulo de Elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>)

I= Momento de inércia (cm<sup>4</sup>)

Le= Comprimento de Flambagem (cm)

i= Raio de Giração (cm)

λ= Índice de Esbeltez

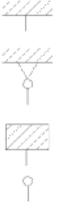
O comprimento de flambagem Le, está relacionado com a forma de fixação das extremidades da estrutura. Dependendo do tipo de fixação (balanço, bi apoiado, engastado, etc.) esse valor é alterado. Em alguns casos o comprimento de flambagem difere do comprimento do elemento sujeito à compressão.

No caso dos aços de baixa liga comumente utilizados em construções mecânicas, a partir do valor do Módulo de Elasticidade que é igual 2 100 000 (kgf/cm<sup>2</sup>) e substituindo na Equação (13) temos que para os aços de baixa liga:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 * 2\,100\,000}{\lambda^2} \quad (20)$$

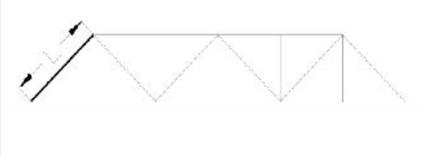
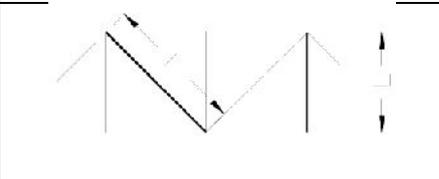
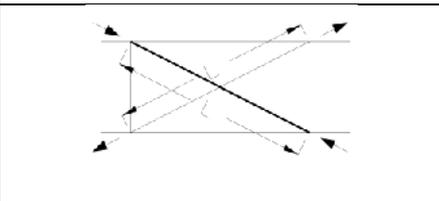
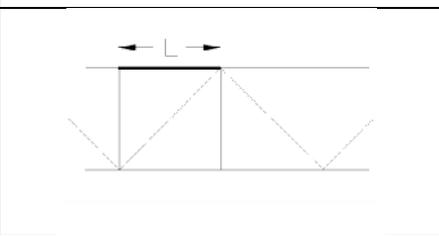
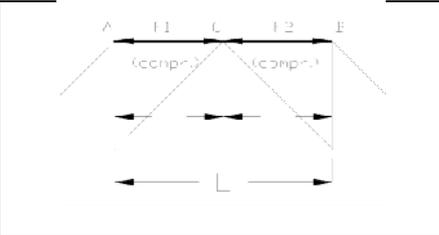
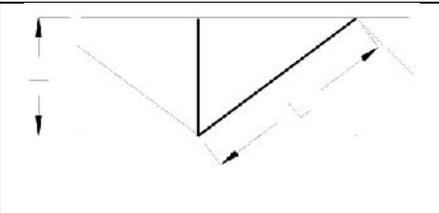
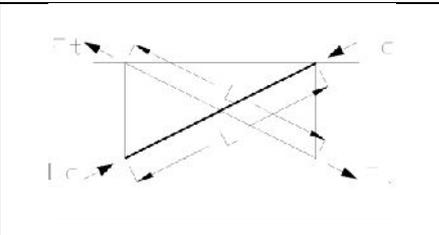
$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 * 20\,705\,160}{\lambda^2} \quad (21)$$

**Tabela 4 – Valores do comprimento de flambagem (Fonte: NBR 8800:2008)**

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

**Tabela 5 – Valores do comprimento de flambagem em treliças (Fonte: NBR 8800:2008)**

Caso		Elemento considerado	K
Flambagem no plano da	1	 Corda	1,0

	2		Diagonal extrema	1,0
	3		Montante ou diagonal	1,0
	4		Diagonal comprimida ligada no centro a uma diagonal tracionada de mesma seção	0,5
	Flambagem fora do plano da treliça	5		Corda com todos os nós contidos fora do plano da treliça
6			Cordas contínuas onde somente A e B são contidos fora do plano $(F_1 > F_2)$	$0,75 + 0,25 \frac{F_2}{F_1}$
7			Montante ou diagonal	1,0
8			Diagonal comprimida contínua, ligada no centro a uma diagonal tracionada de mesma seção	$\sqrt{1,0 - 0,75 \frac{F_t}{F_c}} \geq 0,5$

O índice esbeltez  $\lambda$  indica o quanto um elemento estrutural está vulnerável à falhar por flambagem. Esse índice é uma medida mecânica, calcula através da relação entre o comprimento de flambagem dividido pelo raio de giração do elemento estrutural em análise conforme equação (10).

Segundo a NB 14/68 fixa a tensão admissível de flambagem, para ações de baixa liga:

$$\text{Para } \lambda \leq 105 \rightarrow \sigma_{cr} = 2400 - 0,046 * \lambda^2 \left( \frac{kgf}{cm^2} \right) \quad (22)$$

Sendo que se considerarmos um coeficiente de segurança igual a 2 temos:

$$\text{Para } \lambda \leq 105 \rightarrow \sigma_{cr_{adm}} = 1200 - 0,023 * \lambda^2 \left( \frac{kgf}{cm^2} \right) \quad (23)$$

Para o Índice de Esbeltez maior que 105, utilizando a equação (21) com coeficiente de segurança igual a 2 temos:

$$\text{Para } \lambda > 105 \rightarrow \sigma_{cr_{adm}} = \frac{10\ 363\ 000}{\lambda^2} \left( \frac{kgf}{cm^2} \right) \quad (24)$$

Onde,

$\sigma_{cr}$  = Tensão crítica de flambagem sem coeficiente de segurança.

$\sigma_{cr_{adm}}$  = Tensão crítica de flambagem admissível com coeficiente.

### 3.7 Tensão Admissível e Coeficiente de Segurança

A tensão admissível é um valor no qual podemos considerar para projeto de estruturas ou componentes mecânicos de forma a evitar falhas por discordâncias no material, defeitos de fabricação como trincas internas. Esse valor é menor que o valor de tensão de ruptura de um componente, como por exemplo, o aço ASTM A36, tem tensão de escoamento de aproximadamente 2400 kgf/cm<sup>2</sup> e a tensão admissível comumente usada é de 1200 kgf/cm<sup>2</sup>.

O coeficiente de segurança, e uma constante na qual indica o valor da razão entre a tensão máxima e a tensão admissível, ou seja, quantas vezes a tensão admissível é menor que a tensão máxima. Esse coeficiente serve para garantir que o elemento projeto não sofra falhas durante a sua vida útil.

A forma de expressão de um coeficiente de segurança pode geralmente ser escolhida com base no tipo de esforço exercido sobre a peça. Por exemplo, considere o esforço sobre a parede de uma torre cilíndrica de água que nunca pode estar “mais do que cheia” de um líquido de densidade conhecida dentro de uma gama de temperaturas conhecidas. Uma vez que este esforço é altamente previsível ao longo do tempo, a razão entre a resistência do material e a tensão na parede de um tanque cheio pode ser uma definição apropriada para o coeficiente.

Se você voa de avião, poderá não se sentir muito confortável ao saber que os coeficientes de segurança de aeronaves comerciais estão entre 1,2 e 1,5. As aeronaves militares podem ter um  $N < 1,1$ , mas sua tripulação usa paraquedas. (Os pilotos de teste merecem os altos salários que recebem.) Os mísseis têm um  $N = 1$ , mas não possuem tripulação e não deverão retornar de qualquer maneira (Norton, Robert L, 2013).

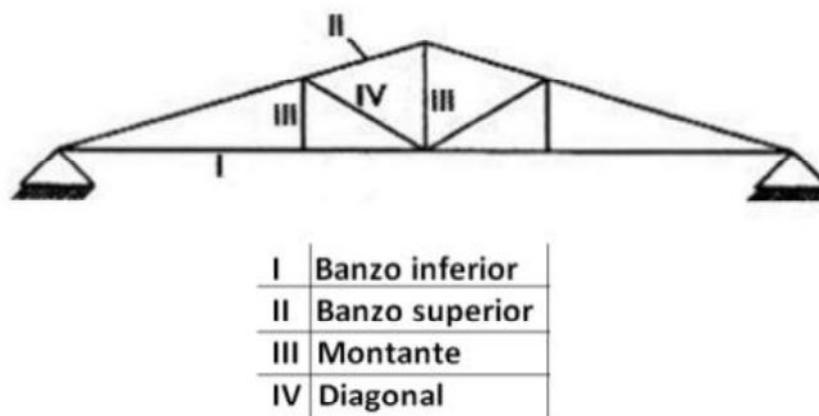
Esses baixos fatores de segurança em aeronaves são necessários para manter o peso baixo, e são justificados por sofisticados modelos analíticos (geralmente envolvendo FEA – Finitesimal Elements Analysis, no Português Análise em Elementos Finitos), testes dos materiais realmente utilizados, extensos testes dos protótipos projetados e rigorosas inspeções de falhas incipientes do equipamento em serviço.

Para testar mecanicamente a estrutura de um protótipo em escala real ou uma aeronave da linha de produção, aplicando a ele forças dinâmicas e medindo seus efeitos. Pode ser difícil prever os tipos de carregamento que um conjunto suportará em serviço, especialmente se o carregamento estiver sob o controle do usuário final ou da Mãe Natureza. Por exemplo, que esforços deverão suportar a roda e a estrutura de uma bicicleta? Depende muito da idade, do peso e do grau de negligência do ciclista, do tipo de pista onde ela será usada, etc. O mesmo problema da incerteza das solicitações existe em todos equipamentos de transporte, navios, aeronaves, automóveis, etc. Os fabricantes dessas máquinas dedicam-se a extensos programas de testes para medir as solicitações operacionais típicas (Norton, Robert L, 2013).

**Tabela 6 – Coeficientes de Segurança utilizados em projetos (Fonte: Norton, Robert L, 2013).**

Informações	Qualidade das informações	Fator
		<i>E1</i>
Dados das propriedades dos materiais disponíveis a partir de testes	O material realmente utilizado foi testado	1,3
	Dados representativos de testes do material estão disponíveis	2
	Dados razoavelmente representativos de testes do material estão disponíveis	3
	Dados insuficientemente representativos de testes do material estão disponíveis	5+
		<i>E2</i>
Condições ambientais nos quais será utilizado	São idênticas às condições dos testes de materiais	1,3
	Essencialmente igual ao ambiente de um laboratório comum	2
	Ambiente moderadamente desafiador	3
	Ambiente extremamente desafiador	5+
		<i>E3</i>
Modelos analíticos para forças e tensões	Os modelos foram testados em experimentos	1,3
	Os modelos representam precisamente o sistema	2
	Os modelos representam aproximadamente o sistema	3
	Os modelos são aproximações grosseiras	5+

### 3.8 Nomenclatura dos principais componentes de uma tesoura



**Figura 19 - Componentes de uma tesoura treliçada (Fonte: Cunha, Treliças de madeira, disponível em: <https://pt.slideshare.net/mackenzista2/trelias-de-madeira-desenhos-e-encaixes>).**

#### 3.8.1 Banzo

O Banzo em uma estrutura pode ser tanto localizado na extremidade parte superior ou inferior sendo denominado respectivamente como Banzo Superior e Banzo Inferior, é o elemento que define as abas de uma estrutura projetada para resistir à flexão como no caso das tesouras estruturais.

No caso da estruturas metálicas o Banzo é constituído por perfis metálicos podendo ser fixado por uniões parafusadas, soldadas ou rebitadas. Esse elemento estrutural pode ser também chamado de corda.

#### 3.8.2 Diagonal

A diagonal serve para suportar os esforços nos quais a estrutura estará submetida evitando que o banzo superior seja forçado contra o banzo inferior. Numa estrutura as diagonais podem ter travamentos (montantes) para evitar que o membro estrutural falhe por flambagem .

As diagonais nas estruturas metálicas são construídas através de perfis metálicos e são importantíssimas para suportar a carga imposta.

### 3.8.3 Montante

Nas tesouras os montantes não são obrigatórios visto terem como função travar a estrutura garantindo maior rigidez à mesma. Servem para evitar que os banzos e diagonais flambem suportando um esforço muito pequeno.

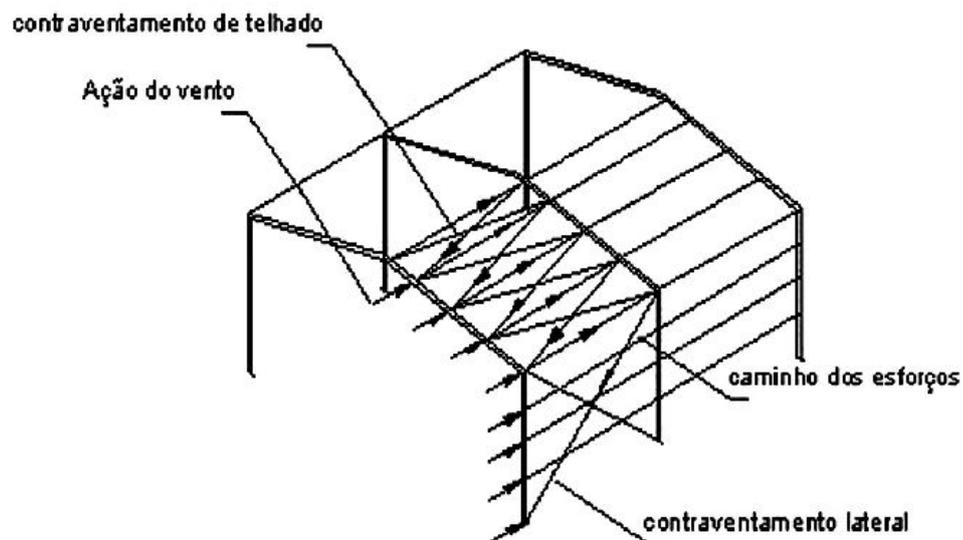
## 3.9 Nomenclatura estrutural

### 3.9.1 Terças

São elementos estruturais no qual fornecem apoio para o telhado entre as tesouras. Também podem sustentar o contraventamento, suporte para iluminação, eletrocalhas e suporte para tubulação em geral.

### 3.9.2 Contraventamento

Os contraventamentos são importantíssimos para as estruturas em geral porque as tesouras, relativamente não possuem resistência lateral quando comparamos com a parte frontal e superior. Podem ser construídos com vergalhões na parte superior travando uma tesoura na outra em formando uma espécie de “X”, também podem ser construídos travando as colunas de forma lateral.



**Figura 20 - Representação de contraventamentos (Fonte: Molina e Junior, p. 178).**

### **3.9.3 Pendural**

Os pendurais podem ser construídos com cabos de aço, cantoneiras e até mesmo perfis “C” ou perfis “U”, tem como função sustentar o piso ligando esse nas tesouras, pode também sustentar tubulações ou fios elétricos.

## **3.10 Tipos de Fixação**

### **3.10.1 Vantagens e Desvantagens da Fixação por Solda**

Vantagens das uniões Soldadas:

- Integridade das juntas de elevada eficiência
- Grande variedade de processos de Solda (Mig, Mag, Tig, Arco Submerso, eletrodo revestido entre outros.
- Baixo custo de montagem
- Baixo tempo para montagem
- Não necessita de reaperto
- Menos tempo de projeto
- Não é necessário furar os elementos estruturais

Desvantagens das uniões Soldadas:

- Exigem inspeção de solda
- Mão-de-obra qualificada
- Necessidade de limpeza antes da solda
- Não pode ser desmontada sem que haja perda de material
- Dependendo do lugar existe o risco de incêndio ou explosão.
- Gasto elevado com energia elétrica

### **3.10.2 Vantagens e Desvantagens da Fixação por Parafusos**

Vantagens das uniões parafusadas:

- Permitem montagens rápidas e de fácil inspeção
- Permitem desmontagem para alteração, reforço estrutural ou reparo
- Economizam energia
- A mão de obra pode ser menos qualificada
- Boa resposta à fadiga
- Permite montar estruturas com materiais difíceis de soldar ou com algum tratamento térmico ou químico.

Desvantagens das uniões parafusadas:

- Precisa furar os elementos estruturais
- Necessidade de pré-montagem
- Tempo elevado para montagem
- Maior tempo de projeto

### **3.10.3 Vantagens e Desvantagens da Fixação por Rebites**

Vantagens das uniões rebitadas:

- Montagem simples
- Resistência à vibração
- Facilidade de inspeção

Desvantagens das uniões rebitadas:

- Necessidade de furar os elementos estruturais
- Dependendo da geometria da união não é possível rebitar
- Custo com rebites é elevado.
- Tempo de rebitagem elevado

#### 4 Verificação dos Esforços

A empresa Souza Cruz ao procurar o professor Hércio, tinha intuito de estudar uma maneira de ampliar a carga nas tesouras de um galpão de forma a abrigar um sistema robótico de logística para enviar ao carregamento de forma mais eficiente as caixas de cigarro.

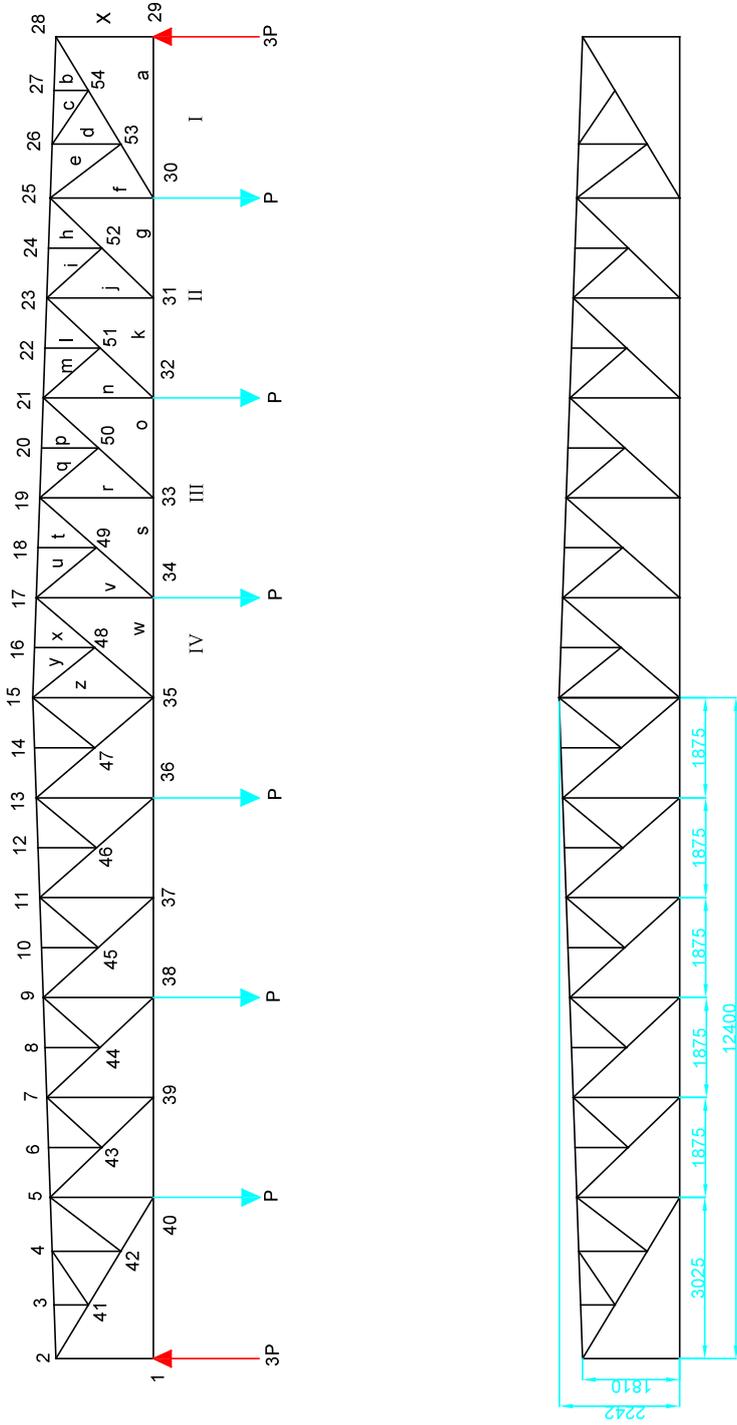
O trabalho consistia em verificar se a estrutura aguentaria a elevação da carga, caso não suportasse, seria verificado se seria possível reforçar a estrutura e caso fosse possível tal reforço, avaliar o impacto na produtividade da instalação visto a contratante frisar a necessidade que qualquer alteração a ser realizada não devesse paralisar o trabalho realizado na expedição.

Todas as estruturas foram construídas com perfis laminados e galvanizados conforme norma NP EN 10346:2015 e afixadas com parafusos de aço carbono temperado ASTM A325. A exigência para que as uniões fossem aparafusadas é motivada pelos seguintes fatores:

- Norma Interna da empresa na qual não é permitido em hipótese alguma fonte de chama no interior da instalação em observância ao elevado risco de incêndio
- Como requerimento inicial do projeto, a estrutura deveria ter certa resistência à corrosão, e com o intuito de evitar o esforço de retocar a pintura de uma estrutura elevada (15 metros do solo) optou-se por utilizar peças galvanizadas.

Os dois fatores citados acima excluem a possibilidade de fazer a estrutura soldada restando as opções de rebite ou parafuso, não optaram pelos rebites pois seria complicado a fixação dos pendurais por essa técnica devido ao fato de necessitar mais elementos quando comparado com os parafusos porque os rebites são feitos de uma liga de aço menos resistente, além de ser onerosa quando comparada aos parafusos.

Vigas	L (mm)	F
bX	1009	4,741 P
cX	1009	4,741 P
eX	1009	4,741 P
hX	938	6,479 P
iX	938	6,479 P
kX	938	8,106 P
mX	938	8,106 P
pX	938	8,744 P
qX	938	8,744 P
tX	938	9,343 P
uX	938	9,343 P
xX	938	9,071 P
yX	938	9,071 P
af	3025	0
gll	1875	4,738 P
kll	1875	6,475 P
oIII	1875	8,101 P
sIII	1875	8,738 P
wIV	1875	9,338 P
zw	1436	0,417 P
yz	1487	0
xy	1021	0
wx	1436	0,417 P
vw	2177	0,316 P
vs	1412	0,902 P
uv	1461	0
tu	1088	0
st	1412	0,902 P
rs	2111	0,696 P
ro	1388	0,943 P
qr	1436	0
pq	1056	0
op	1388	0,943 P
no	2046	0,718 P
nk	1364	2,365 P
mn	1412	0
lm	1023	0
kl	1364	2,365 P
jk	1981	1,774 P
ig	1340	2,483 P
ji	1388	0
hi	990	0
gh	1453	2,483 P
fg	1915	1,835 P
fa	1175	5,521 P
ef	1655	0
ea	1910	5,521 P
de	1277	0
da	1175	5,521 P
cd	1213	0
ca	955	5,521 P
bc	638	0
ab	1175	5,521 P
aX	1810	3,000 P



As treliças foram projetadas inicialmente para suportar  $120 \text{ kgf/m}^2$ , sendo a sobrecarga  $100 \text{ kgf/m}^2$  (Esteira Transportadora) e  $20 \text{ kgf/m}^2$  de peso próprio.

Abaixo seguem os itens que compõem os  $100 \text{ kgf/m}^2$

- Esteiras Transportadoras
- Movimentação de produto acabado

Abaixo seguem os itens que compõem os  $20 \text{ kgf/m}^2$

- Peso das terças
- Peso do telhado, contraventamento
- Peso de tubulação, eletrodutos e iluminação

A nova necessidade de carga seria uma elevação de carga para  $200 \text{ kg/m}^2$ , sendo necessária a verificação dos efeitos desse acréscimo e ações para contorná-los caso necessário.

Dada essa nova necessidade de sobrecarga é possível calcular o valor de carga “P” que é equivalente ao carregamento de  $200 \text{ kg/m}^2$ . Com base no “Layout Cargas” temos que entre o nó 34 e 33 há uma distância de  $1,875 \text{ m}$ , entre uma tesoura e outra temos uma distância de  $4,375 \text{ m}$  fazendo com que tenhamos um área de  $8,20 \text{ m}^2$ .

$$A_{Barracão} = 1,875 \cdot 4,375 = 8,203 \text{ m}^2 \quad (25)$$

Temos que a distribuição de carga é de  $200 \text{ kg/m}^2$  sendo:

$$P' = 200 \cdot 8,203 = 1640,6 \text{ kgf} \quad (26)$$

Utilizando um coeficiente de segurança igual a 2 temos:

$$P = 1640,6 \cdot 2 = 3281,25 \sim 3282 \text{ kgf} \quad (27)$$

Sendo o valor de “P” a referência para a análise estrutural.

#### **4.1 Organização da Análise**

Para analisarmos a tesoura, precisamos analisar cada mecanismo de falha presente na mesma seguindo as etapas abaixo:

1. Verificar os valores inicialmente utilizados para calcular a carga nos membros estruturais.
2. Analisar a resistência nas barras (Montantes e Banzos) mais solicitadas e com menor área de seção Transversal
3. Analisar a resistência dos parafusos e chapas de fixação
4. Analisar os esforços nas cobrejuntas
5. Verificar e projetar modificações de modo a permitir o aumento da carga
6. Conclusão.

#### **4.2 Análise do valor de carga equivalente.**

Ao analisar o desenho com o posicionamento do membros estruturais, resolvendo um sistema linear no qual foram estimados os valores da carga equivalente em função de “P”, sendo a carga P imposta na tesoura com valor calculado em 3282 kg.

Utilizaremos um sistema linear de cargas para calcularmos o valor das solicitações em função de “P”. Como o sistema linear tem um tamanho relativamente grande, fora utilizado o software EES (Engineering Equation Solver) para resolvê-lo, o algoritmo utilizado com seus resultados encontra-se no **ANEXO A**.

#### **4.3 Análise das Barras**

As barras que compõem a tesoura serão analisadas com foco na flambagem visto as mesmas estarem sujeitas à compressão exceto as barras que estão submetidas à tensão de tração.

As informações das Cantoneiras de abas iguais são de acordo com o ANEXO B e as informações utilizadas sobre as Cantoneiras de abas desiguais são de acordo com o ANEXO C.

Ao utilizar como exemplo a Barra N-O

### Barra N-O

Composta por um par de cantoneiras 3/16" x 2 1/2" diagonalmente opostas

Sendo:

Dados Iniciais retirados do ANEXO B e do "Layout Cargas".

$$A = 6,13 \text{ m}^2$$

$$L_e = 204,6 \text{ cm}$$

$$e = \frac{3}{16} \text{ " } = 0,476 \text{ cm} = 0,5 \text{ cm}$$

$$d_p = \frac{3}{4} \text{ " } = 1,905 \text{ cm}$$

$$I_{x0} = 36,6 \text{ cm}^4, I_{y0} = 36,6 \text{ cm}^4$$

$$I_{x1} = 2 \cdot I_{x0} = 73,2 \text{ cm}^4$$

Utilizando a equação (11) para calcular o índice de esbeltez em torno do eixo x

$$\lambda_{x1} = \frac{l_e}{\sqrt{\frac{I_{x1}}{2 \cdot A}}} = \frac{204,6}{\sqrt{\frac{73,2}{12,26}}} = 83,7$$

"d" é o valor da distância entre as cantoneiras:

$$d = \left(1,74 + \frac{0,95}{2}\right) \cdot \sqrt{2} = 3,1 \text{ cm}$$

$$I_{y1} = 2(2 \cdot e + A \cdot d^2) = 2(2 \cdot 0,476 + 6,13 \cdot 3,1^2) = 139,5 \text{ cm}^4$$

Utilizando novamente a Equação (11) só que dessa vez calculando o índice de esbeltez em torno do eixo y

$$\lambda_{y1} = \frac{l_e}{\sqrt{\frac{I_{y1}}{2 \cdot A}}} = \frac{204,6}{\sqrt{\frac{139,5}{12,26}}} = 60,7$$

Para calcular a área real da seção transversal do perfil temos que descontar a área dos furos da área total:

$$A_f = 2 \cdot A - 2 \cdot e \cdot d_p = 2 \cdot 6,13 - 2 \cdot 0,5 \cdot 1,905 = 10,35 \text{ cm}^2$$

Como o membro está submetido à compressão devemos dimensioná-lo usando os conceitos de flambagem sendo que essa acontece em torno do eixo x, abaixo seguem os cálculos para a força máxima em função de "P"

$$\sigma_{adm} = 1200 \text{ kgf/cm}^2$$

Calculo da tensão crítica levando em consideração à flambagem

$$\sigma_c = \sigma_{adm} - 0,023 \cdot I_x1 = 1038,9 \text{ kgf/m}^2 \text{ Equação (23)}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_f} \text{ Equação (1)}$$

$$F_c = 1038,9 \cdot 10,35 = 10752,9 \text{ kgf}$$

$$P = \frac{F_c}{0,718} = \frac{10752,9}{0,718} = 14975,8 \text{ kgf}$$

Sendo as incógnitas:

- A – Área de uma das cantoneiras do par (cm<sup>2</sup>)
- e – Espessura da cantoneira (cm)
- Le – Comprimento de flambagem do membro estrutural (cm)
- dp – diâmetro do parafuso
- Ix0 – Momento de Inercia de uma das cantoneiras com relação ao eixo x
- Iy0 – Momento de Inercia de uma das cantoneiras com relação ao eixo y
- d – Distância entre as cantoneiras.
- Ix1 – Momento de Inercia das cantoneiras com relação ao eixo x1 do par
- Iy1 – Momento de Inercia das cantoneiras com relação ao eixo y1 do par
- λx1 – Coeficiente de flambagem em relação ao eixo x1
- λy1 – Coeficiente de flambagem em relação ao eixo y1
- Af – Área do perfil descontado o furo.
- σ<sub>adm</sub> – Tensão Admissível do aço carbono ASTM A36 com coeficiente de segurança igual a 2.
- σ<sub>cr</sub> – Tensão crítica na qual o membro analisado está submetido.
- F<sub>c</sub> – Força crítica na qual o membro está submetido calculado a partir da tensão crítica
- P – Carga crítica

#### Barra x-w-z

Composta por um par de cantoneiras 3/16” x 2” diagonalmente opostas

Sendo:

Dados Iniciais retirados do ANEXO B e do “Layout Cargas”.

$$A = 4,58 \text{ m}^2$$

$$L_{ex} = 143,6 \text{ cm}$$

$$L_{ey} = 247,2 \text{ cm}$$

$$e = \frac{3}{16} \text{ " } = 0,476 \text{ cm} = 0,5 \text{ cm}$$

$$d_p = \frac{3}{4} \text{ " } = 1,905 \text{ cm}$$

$$I = 11,6 \text{ cm}^4$$

$$I_{x1} = 2 \cdot I = 2 \cdot 11,6 = 23,2 \text{ cm}^4$$

Utilizando a equação para calcular o índice de esbeltez em torno do eixo x (11)

$$\lambda_{x1} = \frac{L_{ex}}{\sqrt{\frac{I_{x1}}{2 \cdot A}}} = \frac{143,6}{\sqrt{\frac{23,2}{2 \cdot 4,58}}} = 90,2$$

“d” é o valor da distância entre as cantoneiras:

$$d = \left(1,74 + \frac{0,95}{2}\right) \cdot \sqrt{2} = 3,1 \text{ cm}$$

$$I_{y1} = I + d^2 \cdot A = 11,6 + 1,92^2 \cdot 4,58 = 57,4 \text{ cm}^4$$

Utilizando novamente a Equação (11) só que dessa vez calculando o índice de esbeltez em torno do eixo y

$$\lambda_{y1} = \frac{L_{ey}}{\sqrt{\frac{I_{y1}}{2 \cdot A}}} = \frac{247,2}{\sqrt{\frac{57,4}{2 \cdot 4,58}}} = 115,2$$

$$A_f = 2 \cdot A - 2 \cdot e \cdot d_p = 2 \cdot 4,58 - 2 \cdot 0,8 \cdot 1,905 = 6,1 \text{ cm}^2$$

Como o membro está submetido à compressão devemos dimensioná-lo usando os conceitos de flambagem sendo que essa acontece em torno do eixo x, abaixo seguem os cálculos para a força máxima em função de “P”

$$\sigma_{adm} = 1200 \text{ kgf/cm}^2$$

Calculo da tensão crítica levando em consideração à flambagem

Calculo da tensão crítica:

$$\sigma_c = \frac{10\,363\,000}{115,2^2} = 780,9 \text{ kgf/m}^2 \text{ Equação (24)}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_f} \text{ Equação (1)}$$

$$F_c = 780,9 \cdot 6,1 = 4763,5 \text{ kgf}$$

$$P = \frac{F_c}{0,417} = \frac{4763,5}{0,417} = 11423,3 \text{ kgf}$$

Sendo as incógnitas:

- $L_x$  – Comprimento de flambagem do membro estrutural em torno do eixo x (cm)
- $L_y$  – Comprimento de flambagem do membro estrutural em torno do eixo y (cm)
- $I$  – Momento de Inércia de uma das cantoneiras do par
- $d_p$  – diâmetro do parafuso

### Barra A-B

Composta por um par de cantoneiras 1/4" x 4" Paralelas.

Sendo:

Dados Inicias

$$A = 12,8 \text{ cm}^2$$

$$e = \frac{1}{4} \text{ " } = 0,635 \text{ cm} = 0,63 \text{ cm}$$

$$d_p = \frac{7}{8} \text{ " } = 2,22 \text{ cm}$$

$$A_f = 2 \cdot A - 2 \cdot e \cdot d_p = 2 (12,8 - 0,63 \cdot 1,905) = 22,8 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{adm} = 1400 \text{ kgf/cm}^2$$

Lembrando que o membro está submetido à tração obviamente devemos calcular a força necessária para alcançar a tensão de escoamento.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_f} \text{ Equação (1)}$$

$$F_c = 1400 \cdot 22,8 = 31\,920 \text{ kgf}$$

$$P = \frac{F_c}{5,521} = \frac{31\,920}{5,521} = 5781,6 \text{ kgf}$$

As barras calculadas acima servem como exemplo de como calculamos todas as outras barras mais solicitadas (maior carga P) ou com maior comprimento de flambagem.

**Tabela 7 – Tabela com os dados iniciais para cálculo.**

<b>Informações das Barras Estruturais Conforme "Layout Cargas"</b>									
<b>Item</b>	<b>Barra</b>	<b>Nomenclatura Estrutural</b>	<b>Formato</b>	<b>Dimensao Cantoneiras</b>	<b>Comprimento de Flambagem em x (cm)</b>	<b>Comprimento de Flambagem em y (cm)</b>	<b>Área Barra (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ix0 (cm<sup>4</sup>)</b>	<b>Iyo (cm<sup>4</sup>)</b>
1	N-O	Montante	Diagonal	2 1/2" x 3/16"	204,6	204,6	2 x 6,13	36,6	9,5
2	R-S	Montante	Diagonal	2 1/2" x 3/16"	211,1	211,1	2 x 6,13	36,6	9,5
3	J-K	Montante	Diagonal	3" x 5/16"	198,1	198,1	2 x 11	99,4	28,5
4	f g	Montante	Diagonal	3" x 5/16"	191,5	191,5	2 x 11	99,4	28,5
5	x-w-z	Diagonal	Paralela	2 1/2" x 3/16"	143,6	247,2	2 x 4,58	11,6	11,6
6	b x	Banzo Superior	Paralela	6" x 4" x 3/8"	100,9	458	2 x 22,9	561,9	204,0
7	t x	Banzo Superior	Paralela	6" x 4" x 3/8"	93,8	375	2 x 22,9	561,9	204,0
8	a b	Banzo Superior	Paralela	4" x 1/4"	Sob Tração	Sob Tração	2 x 12,8	NA	NA
9	3S	Banzo Inferior	Paralela	4" x 3/8"	Sob Tração	Sob Tração	4" x 3/8"	NA	NA
10	4W	Banzo Inferior	Paralela	4" x 3/8"	Sob Tração	Sob Tração	2 x 18,5	NA	NA
11	hg - gj	Banzo Inferior	Paralela	2 1/2" x 1/4"	Sob Tração	Sob Tração	2 x 7,88	NA	NA

Tabela 8 – Tabela com os dados dos perfis.

<b>Informações Barras Conforme Tabela de Cantoneiras (ANEXO A e ANEXO B)</b>							
Item	Barra	Ix1 (cm <sup>4</sup> )	Iy1 (cm <sup>4</sup> )	$\lambda_{x1}$	$\lambda_{y1}$	d (cm)	Af (cm <sup>2</sup> )
1	N-O	73,2	139,5	83,7	60,7	3,1	10,35
2	R-S	73,2	139,5	86,4	62,7	3,1	10,35
3	J-K	198,8	383,9	65,1	46,9	3,8	19,9
4	f g	198,8	383,9	65,1	46,9	3,8	19,9
5	x-w-z	23,2	57,4	90,2	115,3	1,92	9,16
6	b x	372	2681,82	35,4	59,9	0,95	37,4
7	t x	372	2681,82	32,9	49	0,95	37,4
8	a b	NA	NA	NA	NA	0,95	22,8
9	3S	NA	NA	NA	NA	0,95	29,8
10	4W	NA	NA	NA	NA	0,95	28,6
11	hg - gj	NA	NA	NA	NA	0,95	13,4

Tabela 9 – Tabela com os valores carga máxima nos membros estruturais.

<b>Informações Barras Cantoneiras Cálculo dos Esforços</b>							
Item	Barra	d (cm)	Af (cm <sup>2</sup> )	Peq	Tc (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fc (kgf)	P (kgf)
1	N-O	3,1	10,35	0,718	1 038,9	10 752,9	14 975,9
2	R-S	3,1	10,35	0,696	1 028,3	10 642,9	15 291,5
3	J-K	3,8	19,9	1,774	1095,3	21 800,45	12 288,9
4	f g	3,8	19,9	1,835	1 102,5	21 940,3	11 956,7
5	x-w-z	1,92	9,16	0,417	780,9	4763,5	11423,3
6	b x	0,95	37,4	4,741	1117,5	41794,5	8815,5
7	t x	0,95	37,4	9,343	1194,5	44674,3	4781,6
8	a b	0,95	22,8	5,521	1400	31920	5781,6
9	3S	0,95	29,8	9,338	1400	46760	4467,8
10	4W	0,95	28,6	8,738	1400	40040	4582,3
11	hg - gj	0,95	13,4	2,483	1400	18760	7555,4

Ao analisar as Tabelas acima especialmente a **Tabela 9** concluímos que as barras suportam o aumento de carga para o valor de 3282 kgf, sendo o membro estrutural com menor carga máxima de 4582,3 kgf ou seja maior que o valor máximo de “P” calculado com coeficiente de segurança igual a 2.

#### 4.4 Análise da resistência das chapas e parafusos dos principais elementos estruturais

É necessário analisar os elementos de fixação relacionados aos elementos descritos e calculados no item anterior, sendo que analisaremos como o esforço é transferido para os parafusos e para a chapas, podendo cisalhar a chapa ou cisalhar e esmagar o parafuso.

##### Barra A-B

$$\text{Diâmetro do Furo do Parafuso} = A = \frac{3}{4}'' = 1,905 \text{ cm}$$

$$\text{Diâmetro do Parafuso} = D_p = \frac{5}{8}'' = 1,6 \text{ cm}$$

Material do Parafuso: Aço ASTM A325

$$n = 4$$

$$P = 3282 \text{ kgf}$$

$$F_c = 5,521 P = 18\,119,9 \text{ kgf}$$

$$L = 6 \text{ cm}$$

$$d = \frac{3}{8}'' = 0,95 \text{ cm}$$

$$q = L - A = 6 - 1,905 = 4,1 \text{ cm}$$

$$\sigma_{adm} \text{ parafuso} = 3000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{adm} \text{ placa} = 900 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{adm} \text{ parafuso} = 1875 \text{ kgf/cm}^2$$

##### Na Placa

$$\tau_{placa} = \frac{F_c}{n \times (q \times d)} \quad \tau_{placa} = \frac{18\,119,9}{4 \times (4,1 \times 0,95)} = 1163,02 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \text{Equação (6)}$$

##### No parafuso

$$\tau_{parafuso} = \frac{F_c}{m \times A_p} = \frac{F_c}{m \times \left(\frac{\pi \times D_p^2}{4}\right)} \quad \tau_{parafuso} = \frac{18\,119,9}{8 \times \left(\frac{\pi \times 1,6^2}{4}\right)} = 1127,1 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{parafuso} = \frac{F_c}{n \times (D_p \times d)} \quad \sigma_{parafuso} = \frac{18\,119,9}{4 \times (1,6 \times 0,95)} = 2980,25 \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo as Incógnitas:

- $A$  – Diâmetro do furo do parafuso
- $D_p$  – Diâmetro do parafuso
- $P$  – Carga Crítica
- $F_c$  – Força Crítica
- $L$  – Largura da Placa
- $D$  – Espessura da Placa
- $q$  – Largura da Placa descontando o furo
- $\sigma_{adm}$  placa – Tensão Admissível na placa
- $\sigma_{adm}$  parafuso – Tensão Admissível no parafuso
- $\tau_{adm}$  placa – Cisalhamento Admissível na placa
- $\tau_{adm}$  parafuso – Cisalhamento Admissível no parafuso
- $n$  – Número de parafusos
- $m$  – Número de áreas Cisalhadas
- $A_p$  – Área do parafuso

Essa Placa analisada acima serve como exemplo de como foram feitos o restante dos cálculos para os demais elementos, sendo que as diferenças se encontram no diâmetro do parafuso, quantidade de parafusos, tipo de cisalhamento.

Tabela 10 – Tabela com Cálculos das solicitações nas placas.

Barra	Esforço		Diametro Parafuso (cm)	Numero de Parafusos	Numero de Área Cisalhadas	Área cisalhada (cm <sup>2</sup> )	Cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão de esmagamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	Distância entre furos (cm)	Cisalhamento chapa (kgf/cm <sup>2</sup> )
ab	5,521 p	18119,9	1,6	4	8	16,08	1126,55	2980,25	4,10	1163,02
af	5,521 p	18119,9	1,6	4	8	16,08	1126,55	2980,25	4,10	1163,02
fg	1,835 p	6022,5	1,6	4	8	16,08	374,43	990,54	8,10	195,66
hg	2,483 p	8149,2	1,6	3	6	12,06	675,53	1787,11	3,10	691,78
gj	2,483 p	8149,2	1,6	3	6	12,06	675,53	1787,11	3,10	691,78
jk	1,774 p	5822,3	1,6	4	8	16,08	361,98	957,61	8,10	189,16
lk	2,365 p	7761,9	1,6	3	6	12,06	643,43	1702,18	3,10	878,54
kn	2,365 p	7761,9	1,6	3	6	12,06	643,43	1702,18	3,10	878,54
no	0,718 p	2356,5	1,6	4	8	16,08	146,51	387,58	6,10	101,66
po	0,943 p	3094,9	1,6	2	4	8,04	384,83	1018,07	3,10	525,45
or	0,943 p	3094,9	1,6	2	4	8,04	384,83	1018,07	3,10	525,45
rs	0,696 p	2284,3	1,6	4	8	16,08	142,02	375,70	3,10	193,91
ts	0,902 p	2960,4	1,6	2	4	8,04	368,10	973,80	3,10	502,61
sv	0,902 p	2960,4	1,6	2	4	8,04	368,10	973,80	3,10	502,61
vw	0,316 p	1037,1	1,6	4	8	16,08	64,48	170,58	5,10	53,51
xw	0,417 p	1368,6	1,6	2	4	8,04	170,18	450,20	3,10	232,36
wz	0,417 p	1368,6	1,6	2	4	8,04	170,18	450,20	3,10	232,36

Ao analisar a **Tabela 10** Percebemos que a chapa que prende os elementos A e B falhará por cisalhamento na chapa sendo necessário alguma ação para reforço.

#### 4.5 Análise da resistência das cobrejuntas e parafusos dos principais elementos estruturais

##### Barra S3

Diâmetro do Furo do Parafuso = A = 7/8” = 2,22 cm

Diâmetro do Parafuso = Dp = 3/4” = 1,905 cm

Material do Parafuso: Aço ASTM A325

n = 10

m = 14

P = 3282 kgf

Fc = 8,3738 P

Pc = 28 678 kgf

L = 6 cm

$$d = 3/8'' = 0,95 \text{ cm}$$

$$q = L - A = 6 - 2,22 = 3,78 \text{ cm}$$

$$\sigma_{adm} \text{ parafuso} = 3000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{adm} \text{ placa} = 900 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{adm} \text{ parafuso} = 1875 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{adm} \text{ parafuso} = 3000 \text{ kgf/cm}^2$$

### Na Placa

$$\tau_{placa} = \frac{F_c}{n \times (q \times d)} \quad \tau_{placa} = \frac{28\,678,12}{10 \times (3,78 \times 0,95)} = 798,61 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \text{ Equação(6)}$$

### No parafuso

$$\tau_{parafuso} = \frac{F_c}{m \times A_p} = \frac{F_c}{m \times \left(\frac{\pi \times D_p^2}{4}\right)} \quad \tau_{parafuso} = \frac{28678,12}{14 \times \left(\frac{\pi \times 1,905^2}{4}\right)} = 718,71 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{parafuso} = \frac{F_c}{n \times (D_p \times d)} \quad \sigma_{parafuso} = \frac{28678,12}{10 \times (1,905 \times 0,95)} = 2263,78 \text{ kgf/cm}^2$$

**Tabela 11 – Tabela com Cálculos das solicitações nas Cobrejuntas.**

Barra	Esforço		Número de Parafusos	Número de Áreas Cisalhadas	Diâmetro do Parafuso (cm)	Área cisalhada Parafuso (cm <sup>2</sup> )	Cisalhamento Parafuso (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão de Esmagamento do Parafuso (kgf/cm <sup>2</sup> )	Distância entre furos (cm)	Cisalhamento chapa (kgf/cm <sup>2</sup> )
S3	8,738 p	28678,12	10	14	1,905	39,90	718,71	2263,78	3,78	798,61
O3	8,101 p	26587,48	10	14	1,905	39,90	666,32	2098,75	3,78	740,39
yX	9,071 p	29771,02	10	14	1,905	39,90	746,10	2350,05	3,78	829,05
Xy	9,071 p	29771,02	10	14	1,905	39,90	746,10	2350,05	3,78	829,05
Xe	4,741 p	15559,96	10	14	1,905	39,90	389,95	1228,26	3,78	433,30
hX	6,479 p	21264,08	10	14	1,905	39,90	532,91	1678,53	3,78	592,15

A partir da **Tabela 11** percebemos que as cobrejuntas estão adequadas ao aumento de carga no qual será submetido à estrutura. Pois nenhum dos esforços analisados foi maior que a tensão admissível ( $\tau_{adm}$  placa) maior que  $900 \text{ kgf/cm}^2$ , porém

#### 4.6 Alterações Estruturais

Ao analisar os resultados obtidos acima (**Tabela 9**), é possível notar que as placas que servem de fixação para os membros estruturais AB e AF não suportariam o aumento no carregamento sendo necessário alterar a placa.

Temos como opção para alterar a placa para a suportar tal aumento de carga é ampliarmos o número de parafusos e conseqüentemente aumentarmos as dimensões da placa, fazendo com que a carga imposta em cada parafuso seja menor e com isso a carga de cisalhamento na placa será menor. Com isso não alteraremos a distância entre os furos e nem a geometria da junta, apenas aumentaremos dois furos na placa e conseqüentemente aumentaremos as dimensões da placa de modo a comportar esses dois furos.

Para tal alteração teremos que fazer mais dois furos nas cantoneiras do membro AB e AF, sendo que nas cantoneiras não será alterada a área seção transversal, e trocar a placa por uma com dimensões maiores.

Abaixo seguem os cálculos da alteração:

##### Barra A-B

$$\text{Diâmetro do Furo do Parafuso} = A = \frac{3}{4}'' = 1,905 \text{ cm}$$

$$\text{Diâmetro do Parafuso} = D_p = \frac{5}{8}'' = 1,6 \text{ cm}$$

Material do Parafuso: Aço ASTM A325

$$n = 6$$

$$m = 12$$

$$P = 3282 \text{ kgf}$$

$$F_c = 5,521 P = 18\,119,9 \text{ kgf}$$

$$L = 6 \text{ cm}$$

$$d = \frac{3}{8}'' = 0,95 \text{ cm}$$

$$q = L - A = 6 - 1,905 = 4,1 \text{ cm}$$

$$\sigma_{adm} \text{ parafuso} = 3000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{adm} \text{ placa} = 900 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{adm} \text{ parafuso} = 1875 \text{ kgf/cm}^2$$

Na Placa

$$\tau_{placa} = \frac{F_c}{n \times (q \times d)} \quad \tau_{placa} = \frac{18\,119,9}{6 \times (4,1 \times 0,95)} = 775,35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \text{Equação (6)}$$

No parafuso

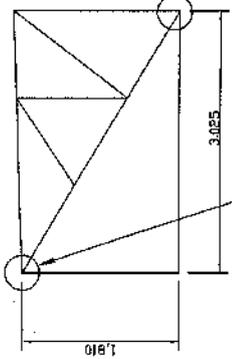
$$\tau_{parafuso} = \frac{F_c}{m \times A_p} = \frac{F_c}{m \times \left(\frac{\pi \times D_p^2}{4}\right)} \quad \tau_{parafuso} = \frac{18\,119,9}{12 \times \left(\frac{\pi \times 1,6^2}{4}\right)} = 751,30 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{parafuso} = \frac{F_c}{n \times (D_p \times d)} \quad \sigma_{parafuso} = \frac{18\,119,9}{6 \times (1,6 \times 0,95)} = 1986,83 \text{ kgf/cm}^2$$

**Tabela 12 – Tabela com os cálculos das solicitações nas placas após alteração.**

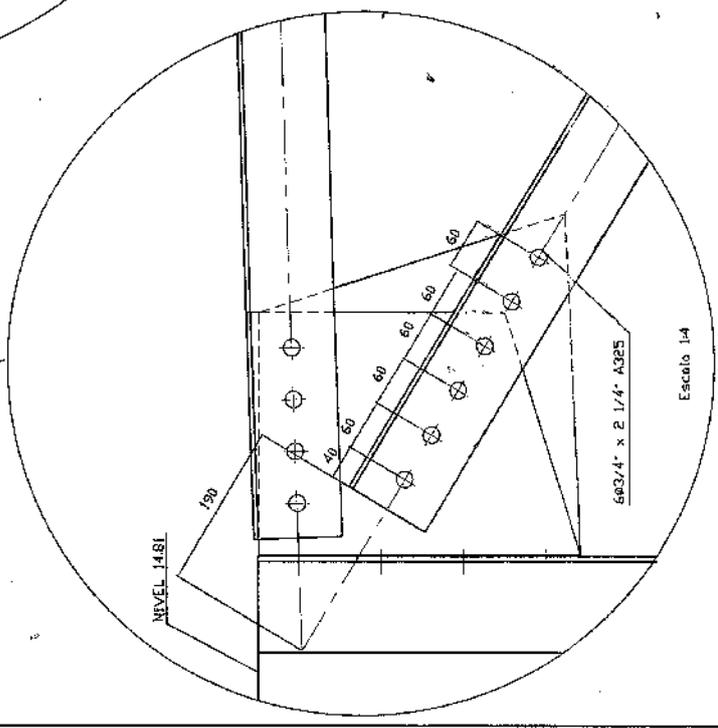
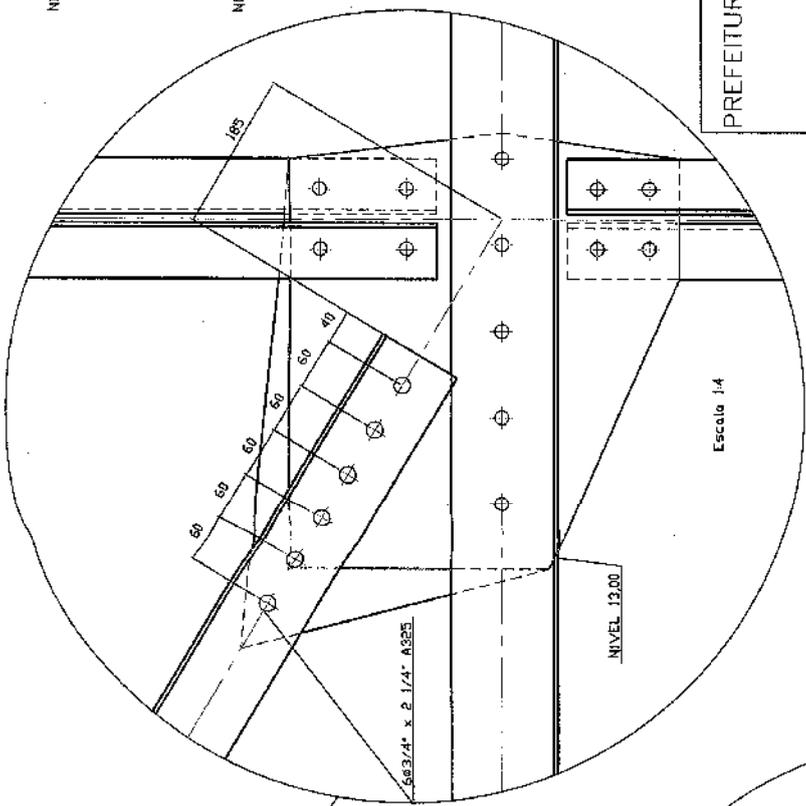
Barra	Esforço		Diametro Parafuso (cm)	Numero de Parafusos	Numero de Área Cisalhadas	Área cisalhada (cm <sup>2</sup> )	Cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão de esmagamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	Distância entre furos (cm)	Cisalhamento chapa (kgf/cm <sup>2</sup> )
ab	5,521 p	18119,9	1,6	6	12	24,13	751,03	1986,83	4,10	<b>775,35</b>
af	5,521 p	18119,9	1,6	6	12	24,13	751,03	1986,83	4,10	<b>775,35</b>

Na **Tabela 12** foi possível perceber que os esforços na chapa foram reduzidos e estão dentro dos limites aceitáveis



NIVEL 14,81 ( 24 peças )  
 INTERSECÇÃO DOS EIXOS 625 E 650 COM OS EIXOS:  
 1630; 1643,125; 1647,5; 1651,875; 1656,25; 1660,625;  
 1665; 1669,375; 1673,75; 1678,125; 1682,5  
 INTERSECÇÃO DO EIXO 625 COM OS EIXOS:  
 1634,375; 1638,75

NIVEL 13,00 ( 24 peças )  
 INTERSECÇÃO DOS EIXOS 628,125 E 646,875 COM OS EIXOS:  
 1630; 1643,125; 1647,5; 1651,875; 1656,25; 1660,625;  
 1665; 1669,375; 1673,75; 1678,125; 1682,5  
 INTERSECÇÃO DO EIXO 628,125 COM OS EIXOS:  
 1634,375; 1638,75



PREFEITURA

CREA:

Cliente:	CIA. CIGARROS SOUZA CRUZ		
Objeto:	MODIFICAÇÃO CHAPA DE ROS DAS TESOURAS DO PROJETO ET- 79461-D4-folhas 1/5 a 5/5 EXCETO CHAPAS DAS TESOURAS T4J e T4K do COTA 69C		
Engenheiro:	HERCÍO CÂNDIDO DE QUEIROZ - CREA: 14.301/0-MG	Dado:	07/08/98
Arquivo:	A:Des1.dwg		

MATERIAL GALVANIZADO)  
 48 CHAPAS ESPECIFICADAS  
 96 PARAFUSOS 3/4" x 2 1/4" A325  
 NETA: A CHAPA DE MENOR DIMENSÃO (EXISTENTE) DEVERÁ SER SUBSTITUÍDA PELA CHAPA DE MAIOR DIMENSÃO.

## 5 Conclusão

Ao analisar os cálculos executados conclui-se que com o aumento na sobrecarga, somente as placas de fixação das Barras AB e AF não suportariam o aumento na sobrecarga sendo necessário aumentar a quantidade de parafusos de fixação de 4 para 6 parafusos. Com essa alteração as tesouras treliçadas suportam o aumento de carga.

Com relação aos elementos analisados os montantes, diagonais e banzos suportam o aumento de carga proposto, inclusive tendo condições de resistirem à cargas maiores conforme apresentado na **Tabela 9** e as cobrejuntas conforme **Tabela 11** resistem ao aumento de carga proposto.

## 6 Referências Bibliográficas

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1030 p..

Profa. Daniela Águida Bento, **Fundamentos de Resistência dos Materiais** Profa. Daniela A. Bento Florianópolis, março de 2003.

Galpão eficiente. Galpão dois pisos. Disponível em: <<http://galpaoeficiente.parquetorino.com.br/conheca-os-tipos-de-galpoes-e-veja-qual-e-oideal-para-sua-empresa>>. Acesso em: 13 de Março de 2018.

Portal Met@lica. Vantagens da construção em aço. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/vantagens-da-construcao-em-aco>>. Acesso em: 10 de Dezembro de 2017.

Premonta. Vantagens e desvantagens na utilização do aço estrutural. Disponível em: <<http://premonta.com.br/vantagens-e-desvantagens-na-utilizacao-do-aco-estrutural/>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2017.

Steel Statistical Yearbook 2016. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:37ad1117-fefc-4df3-b84f-6295478ae460/Steel+Statistical+Yearbook+2016.pdf>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2017.

Technology Metals Research. Disponível em: <<http://www.techmetalsresearch.com/2010/12/is-chinese-gdp-growth-sustainable-in-the-face-of-natural-resources-supply-growth-constraints/>>. Acesso em: 19 de Outubro de 2017.

Valle, A., Rovere, H. L., Pillar, N. M. P., Apostila de Análise Estrutural I, 2013, 207p. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013. Disponível em: <<http://pet.ecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/ECV5219%20-%20An%C3%A1lise%20Estrutural%20I.pdf>>. Acesso em: 02 de Novembro de 2017.

## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO A – CÓDIGO PARA CALCULO DA CARGA EM FUNÇÃO DE “P”

{Nó 1}

{somatório em Y}

$$-ax+3 = 0$$

{somatório em X}  $a1 = 0$

{Nó 2}

{somatório em X}

$$-bx*\cos(2) + ba*\sin(59) = 0$$

{somatório em Y}

$$ax - ba*\cos(59) - bx*\sin(2) = 0$$

{Nó 3}

{somatório em Y}

$$bc - cx*\sin(2) + bx*\cos(88) = 0$$

{somatório em X}  $bx*\sin(88) - cx*\cos(2) = 0$

{Nó 41}

{somatório em Y}

$$bc + cd*\cos(55) - da*\sin(31) + ba*\sin(31)$$

$$= 0$$

{somatório em X}

$$cd*\sin(55) + da*\cos(31) - ba*\cos(31) = 0$$

{Nó 4}

{somatório em Y}

$$ed - ex*\sin(2) + cx*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$cx*\cos(2) - ex*\cos(2) - cd*\sin(55) = 0$$

{Nó 42}

{somatório em Y}

$$-fa*\sin(31) + ef*\cos(38) + da*\sin(31) = 0$$

{somatório em X}

$$fa*\cos(31) - da*\cos(31) + ef*\sin(38) = 0$$

{Nó 40}

{somatório em X}

$$-a1 + g2 - fa*\cos(31) = 0$$

{somatório em Y}

$$-fg + fa*\sin(31) - 1 = 0$$

{Nó 5}

{somatório em Y}

$$fg - hg*\cos(44,4) - hx*\sin(2) + ex*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-hx*\cos(2) + ex*\cos(2) + hg*\sin(44,4) = 0$$

{Nó 6}

{somatório em Y}  $hx*\sin(2) - ix*\sin(2) + ih = 0$

{somatório em X}

$$-ix*\cos(2) + hx*\cos(2) = 0$$

{Nó 43}

{somatório em Y}

$$-jg \cdot \sin(45,6) + hg \cdot \sin(45,6) - ih + ij \cdot \cos(42,5) = 0$$

{somatório em X}  $ij \cdot \sin(42,5) + jg \cdot \cos(45,6) - hg \cdot \cos(45,6) = 0$

{Nó 39}

{somatório em Y}

$$-kj + jg \cdot \sin(45,6) = 0$$

{somatório em X}

$$-g_2 + k_2 - jg \cdot \cos(45,6) = 0$$

{Nó 7}

{somatório em Y}

$$-ix \cdot \sin(2) - lk \cdot \cos(43,4) + kj - ij \cdot \cos(42,5) + ix \cdot \sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$ix \cdot \cos(2) - lx \cdot \cos(2) + lk \cdot \sin(43,4) - ij \cdot \sin(42,5) = 0$$

{Nó 8}

{somatório em Y}

$$-mx \cdot \sin(2) + lx \cdot \sin(2) + lm = 0$$

{somatório em X}

$$-mx \cdot \cos(2) + lx \cdot \cos(2) = 0$$

{Nó 44}

{somatório em Y}

$$-lm + mn \cdot \cos(41,6) - nk \cdot \sin(46,6) + lk \cdot \sin(46,6) = 0$$

{somatório em X}  $mn \cdot \sin(41,6) + nk \cdot \cos(46,6) - lk \cdot \cos(46,6) = 0$

{Nó 38}

{somatório em Y}

$$-no + nk \cdot \sin(46,6) - 1 = 0$$

{somatório em X}

$$o_3 - k_2 - nk \cdot \cos(46,6) = 0$$

{Nó 9}

{somatório em Y}

$$\text{no}-\text{px}*\sin(2)-\text{po}*\cos(42,5)-\text{mn}*\cos(41,6)+\text{mx}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{px}*\cos(2)+\text{po}*\sin(42,5)-\text{mn}*\sin(41,6)+\text{mx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 10}

{somatório em Y}

$$-\text{qx}*\sin(2)+\text{px}*\sin(2)+\text{pq} = 0$$

{somatório em X}

$$\text{px}*\cos(2)-\text{qx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 45}

{somatório em Y}

$$-\text{pq}+\text{qr}*\cos(40,75)-\text{ro}*\sin(47,5)+\text{po}*\sin(47,5) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{qr}*\sin(40,75)+\text{ro}*\cos(47,5)-\text{po}*\cos(47,5) = 0$$

{Nó 37}

{somatório em Y}

$$-\text{rs}+\text{ro}*\sin(47,5) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{s3}-\text{o3}-\text{ro}*\cos(47,5) = 0$$

{Nó 11}

{somatório em Y}

$$-\text{tx}*\sin(2)-\text{ts}*\cos(41,6)+\text{rs}-\text{qr}*\cos(40,75)+\text{qx}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{tx}*\cos(2)+\text{ts}*\sin(41,6)-\text{qr}*\sin(40,75)+\text{qx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 12}

{somatório em Y}

$$\text{tx}*\sin(2)-\text{ux}*\sin(2)+\text{ut} = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{ux}*\cos(2)+\text{tx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 46}

{somatório em Y}

$$-\text{ut}+\text{uv}*\cos(39,9)-\text{vs}*\sin(48,4)+\text{ts}*\sin(48,4) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{uv}*\sin(39,9)+\text{vs}*\cos(48,4)-\text{ts}*\cos(48,4) = 0$$

{Nó 36}

{somatório em Y}

$$\text{wv}-1+\text{vs}*\sin(48,4) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{w4}-\text{s3}-\text{vs}*\cos(48,4) = 0$$

{Nó 13}

{somatório em Y}

$$-\text{xx}*\sin(2)+\text{xw}*\cos(40,74)-\text{wv}-\text{uv}*\cos(39,9)+\text{ux}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{xx}*\cos(2)-\text{xw}*\sin(40,74)-\text{uv}*\sin(39,9)+\text{ux}*\cos(2) = 0$$

{Nó 14}

{somatório em Y}

$$\text{yx}-\text{xy}*\sin(2)+\text{xx}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{xx}*\cos(2)-\text{xy}*\cos(2) = 0$$

{Nó 47}

{somatório em Y}

$$-\text{yx}+\text{yz}*\cos(39,1)-\text{zw}*\sin(49,26)+\text{xw}*\sin(49,26) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{yz}*\sin(39,1)+\text{zw}*\cos(49,26)-\text{xw}*\cos(49,26) = 0$$

{Nó 15}

{somatório em Y}

$$-\text{xy}_l*\sin(2)-\text{yz}_l*\cos(39,1)-\text{yz}*\cos(39,1)+\text{xy}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{xy}_l*\cos(2)+\text{yz}_l*\sin(39,1)-\text{yz}*\sin(39,1)+\text{xy}*\cos(2) = 0$$

{Nó 35}

{somatório em Y}

$$\text{zw}*\sin(49,26)-\text{zw}_l*\sin(49,26) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{w4}+\text{w4}_l-\text{zw}_l*\cos(49,26)-\text{zw}*\cos(49,26) = 0$$

a1 = 0  
ax = 3  
ba = 5,505  
bc=2,041E-07  
bx =4,721  
cd = -1,915E-07  
cx =4,721  
da = 5,505  
ed = 5,479E-09  
ef = -1,516E-14  
ex =4,721  
fa=5,505  
fg=1,835  
g2=4,719  
hg=2,484  
hx = 6,46  
ih= 1,409E-15  
ij = 9,874E-16  
ix =6,46  
jg =2,484  
k2 =6,456  
kj=1,775  
lk=2,364  
lm=-8,902E-15  
lx =8,086  
mn=-6,140E-15  
mx =8,086  
nk =2,364  
no =0,7178  
o3 =8,081  
po =0,9434  
pq=-9,704E-15 px =8,723  
qr=-6,601E-15 qx =8,723  
ro =0,9434  
rs =0,6956  
s3 =8,718

{Nó 29}

{somatório em Y}

$$-ax+3 = 0$$

{somatório em X}

$$a1 = 0$$

{Nó 28}

{somatório em X}

$$bx*\cos(2) - ba*\sin(59) = 0$$

{somatório em Y}

$$ax - ba*\cos(59) - bx*\sin(2) = 0$$

{Nó 27}

{somatório em Y}

$$bc - cx*\sin(2) + bx*\cos(88) = 0$$

{somatório em X}

$$-bx*\sin(88) + cx*\cos(2) = 0$$

{Nó 54}

{somatório em Y}

$$bc + cd*\cos(55) - da*\sin(31) + ba*\sin(31) = 0$$

{somatório em X}

$$-cd*\sin(55) - da*\cos(31) + ba*\cos(31) = 0$$

{Nó 26}

{somatório em Y}

$$ed - ex*\sin(2) + cx*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-cx*\cos(2) + ex*\cos(2) + cd*\sin(55) = 0$$

{Nó 53}

{somatório em Y}

$$-fa*\sin(31) + ef*\cos(38) + da*\sin(31) = 0$$

{somatório em X}

$$-fa*\cos(31) + da*\cos(31) - ef*\sin(38) = 0$$

{Nó 30}

{somatório em X}

$$a1 - g2 + fa*\cos(31) = 0$$

{somatório em Y}

$$-fg + fa*\sin(31) - 1 = 0$$

{Nó 25}

{somatório em Y}

$$fg - hg*\cos(44,4) - hx*\sin(2) + ex*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$hx*\cos(2) - ex*\cos(2) - hg*\sin(44,4) = 0$$

{Nó 24}

{somatório em Y}

$$hx*\sin(2) - ix*\sin(2) + ih = 0$$

{somatório em X}

$$ix*\cos(2) - hx*\cos(2) = 0$$

{Nó 52}

{somatório em Y}

$$-jg*\sin(45,6) + hg*\sin(45,6) -$$

$$ih + ij*\cos(42,5) = 0$$

{somatório em X}

$$-ij*\sin(42,5) - jg*\cos(45,6) + hg*\cos(45,6) = 0$$

{Nó 31}

{somatório em Y}

$$-kj + jg*\sin(45,6) = 0$$

{somatório em X}

$$g2 - k2 + jg*\cos(45,6) = 0$$

{Nó 23}

{somatório em Y}

$$-lx*\sin(2) - lk*\cos(43,4) + kj -$$

$$ij*\cos(42,5) + ix*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-ix*\cos(2) + lx*\cos(2) -$$

$$lk*\sin(43,4) + ij*\sin(42,5) = 0$$

{Nó 22}

{somatório em Y}

$$-mx*\sin(2) + lx*\sin(2) + lm = 0$$

{somatório em X}

$$mx*\cos(2) - lx*\cos(2) = 0$$

{Nó 51}

{somatório em Y}

$$-lm + mn*\cos(41,6) -$$

$$nk*\sin(46,6) + lk*\sin(46,6) =$$

$$0$$

{somatório em X}

$$-mn*\sin(41,6) - nk*\cos(46,6) + lk*\cos(46,6)$$

$$= 0$$

{Nó 32}

{somatório em Y}

$$-no + nk*\sin(46,6) - 1 = 0$$

{somatório em X}

$$-o3 + k2 + nk*\cos(46,6) = 0$$

{Nó 21}

{somatório em Y}

$$\text{no}-\text{px}*\sin(2)-\text{po}*\cos(42,5)-\text{mn}*\cos(41,6)+\text{mx}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{px}*\cos(2)-\text{po}*\sin(42,5)+\text{mn}*\sin(41,6)-\text{mx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 20}

{somatório em Y}

$$-\text{qx}*\sin(2)+\text{px}*\sin(2)+\text{pq} = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{px}*\cos(2)+\text{qx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 50}

{somatório em Y}

$$-\text{pq}+\text{qr}*\cos(40,75)-\text{ro}*\sin(47,5)+\text{po}*\sin(47,5) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{qr}*\sin(40,75)-\text{ro}*\cos(47,5)+\text{po}*\cos(47,5) = 0$$

{Nó 33}

{somatório em Y}

$$-\text{rs}+\text{ro}*\sin(47,5) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{s3}+\text{o3}+\text{ro}*\cos(47,5) = 0$$

{Nó 19}

{somatório em Y}

$$-\text{tx}*\sin(2)-\text{ts}*\cos(41,6)+\text{rs}-\text{qr}*\cos(40,75)+\text{qx}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{tx}*\cos(2)-\text{ts}*\sin(41,6)+\text{qr}*\sin(40,75)-\text{qx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 18}

{somatório em Y}

$$\text{tx}*\sin(2)-\text{ux}*\sin(2)+\text{ut} = 0$$

{somatório em X}

$$\text{ux}*\cos(2)-\text{tx}*\cos(2) = 0$$

{Nó 49}

{somatório em Y}

$$-\text{ut}+\text{uv}*\cos(39,9)-\text{vs}*\sin(48,4)+\text{ts}*\sin(48,4) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{uv}*\sin(39,9)-\text{vs}*\cos(48,4)+\text{ts}*\cos(48,4) = 0$$

{Nó 34}

{somatório em Y}

$$\text{wv}-1+\text{vs}*\sin(48,4) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{w4}+\text{s3}+\text{vs}*\cos(48,4) = 0$$

{Nó 17}

{somatório em Y}

$$-\text{xx}*\sin(2)+\text{xw}*\cos(40,74)-\text{wv}-\text{uv}*\cos(39,9)+\text{ux}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$\text{xx}*\cos(2)+\text{xw}*\sin(40,74)+\text{uv}*\sin(39,9)-\text{ux}*\cos(2) = 0$$

{Nó 16}

{somatório em Y}

$$\text{yx}-\text{xy}*\sin(2)+\text{xx}*\sin(2) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{xx}*\cos(2)+\text{xy}*\cos(2) = 0$$

{Nó 48}

{somatório em Y}

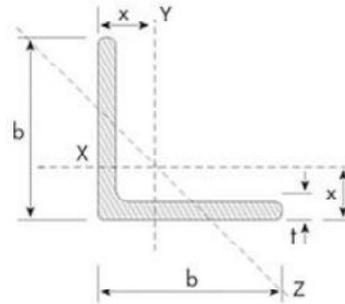
$$-\text{yx}+\text{yz}*\cos(39,1)-\text{zw}*\sin(49,26)+\text{xw}*\sin(49,26) = 0$$

{somatório em X}

$$-\text{yz}*\sin(39,1)-\text{zw}*\cos(49,26)+\text{xw}*\cos(49,26) = 0$$

a1=0	mx=8,086
ax=3	nk=2,364
ba=5,505	no=0,7178
bc=2,041E-07	o3=8,081
bx=4,721	po=0,9434
cd=-1,915E-07	pq=-9,704E-15
cx=4,721	px=8,723
da=5,505	qr=-6,601E-15
ed=5,479E-09	qx=8,723
ef=-1,516E-14	ro=0,9434
ex=4,721	rs=0,6956
fa=5,505	s3=8,718
fg=1,835	ts =0,9022
g2=4,719	tx=9,323
hg=2,484	ut=2,148E-15
hx=6,46	uv=1,4E-15
ih=1,409E-15	ux=9,323
ij=9,878E-16	vs=0,9022
ix=6,46	w4=9,317
jg=2,484	wv=0,3254
k2=6,456	xw=0,4169
kj=1,775	xx=9,051
lk=2,364	xy=9,051
lm=-8,902E-15	yx=2,07E-15
lx=8,086	yz=1,37E-15
mn=-6,140E-15	zw=0,4169

## 7.2 ANEXO B – TABELA DE CANTONEIRAS COM ABAS IGUAIS



bf		Peso Nominal	tf		Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz mín.	x
pol	mm	Kg/m	pol	cm	cm²	cm⁴	cm³	cm	cm	cm
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
1"	25,400	1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1.1/4"	31,750	1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1.1/2"	38,100	1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1.3/4"	44,450	2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
2"	50,800	2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2.1/2"	63,500	4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	76,200	5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	0,952	13,61	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
3.1/2"	88,900	8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
4"	101,600	9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
5"	127,000	12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58
6"	152,400	22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
8"	203,200	48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79



LIBRADO PARA EXERCÍCIO  
EX. 47. 1980